Série A, nº 4402
Nº d'ordre :
5251

THÈSES

présentées à la

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

pour obtenir le grade de
DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

par

Gilbert GLUCK

1re *THÈSE*

Étude du déplacement isotopique du tungstène, de l'osmium, du néodyme. Contribution à la classification des spectres d'arc de ces éléments

2e *THÈSE : Propositions données par la Faculté*

Soutenues le 13 Novembre 1964 devant la Commission d'examen :

MM. JACQUINOT — *Président*
BLAISE, BROCHARD — *Examinateurs*

MASSON & Cie, ÉDITEURS
120, boulevard Saint-Germain
PARIS — 1965

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550011_0057

Série A, nº 4402
Nº d'ordre :
5251

THÈSES

présentées à la

FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

pour obtenir le grade de
DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

par

Gilbert GLUCK

1re *THÈSE*

Étude du déplacement isotopique du tungstène, de l'osmium, du néodyme. Contribution à la classification des spectres d'arc de ces éléments

2e *THÈSE : Propositions données par la Faculté*

Soutenues le 13 Novembre 1964 devant la Commission d'examen :

MM. JACQUINOT — *Président*
BLAISE, BROCHARD — *Examinateurs*

MASSON & Cie, ÉDITEURS
120, boulevard Saint-Germain
PARIS — 1965

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

Doyen ..... M. ZAMANSKY.

PROFESSEURS

G. JULIA	T	Analyse supérieure et Algèbre supérieure.
PRENANT	T	Anatomie et histologie comparées.
GRASSÉ	T	Évolution des êtres organisés.
PRÉVOST	T	Chimie organique.
WYART	T	Minéralogie et Cristallographie.
TEISSIER	T	Zoologie.
MANGENOT	T	Biologie végétale (Orsay)
AUGER	T	Physique quantique et Relativité.
MONNIER	T	Physiologie générale.
PIVETEAU	T	Paléontologie.
ROCARD	T	Physique (E.N.S.).
CARTAN	T	Mathématiques (E.N.S.)
LAFFITTE	T	Chimie générale.
FAVARD	T	Géométrie supérieure.
COULOMB	T	Physique du Globe.
M^lle^ COUSIN	T	Biol. animale (S.P.C.N.)
CHRÉTIEN	T	Chimie minérale.
DRACH	T	Zoologie.
KASTLER	T	Physique (E.N.S.).
EPHRUSSI	T	Génétique.
RIVIÈRE	T	Géologie (S.P.C.N.) et Sédim. (Orsay).
GAUTHERET	T	Biologie végétale (P.C.B.).
R. LUCAS	T	Recherches physiques.
A. THOMAS	T	Biologie cellulaire.
ARNULF	T	Optique appliquée.
MORAND	T	Physique Enseignement
SOLEILLET	T	Physique (P.C.B.).
FORTIER	T	Mécanique expérim. des fluides.
PETIT	T	Biologie maritime.
QUENEY	T	Météorologie et dynamique atmosphérique
GALLIEN	T	Embryologie.
EICHHORN	T	Botanique.
DE CUGNAC	T	Biologie végétale (S.P.C.N.).
M^lle^ CAUCHOIS	T	Chimie physique.
THELLIER	T	Physique du Globe.
L'HÉRITIER	T	Biologie générale (Orsay).
GRIVET	T	Radioélectricité (Orsay).
PONCIN	T	Mécanique générale.
DUBREIL	T	Arithmétique et théorie des nombres.
QUELET	T	Chimie organique.
CAGNIARD	T	Géophysique appliquée
CHAMPETIER	T	Chimie macromolécul
CUVILLIER	T	Micropaléontologie.
JUNG	T	Géologie.
TRILLAT	T	Microscopie et diffraction électronique
WIEMANN	T	Chimie org. et structurale.
JACQUINOT	T	Spectroscopie et physique céleste (Orsay).
VASSY	T	Physique de l'atmosphère.
DESTOUCHES	T	Théories physiques.
AMIEL	T	Chimie générale.
HOCART	T	Minéralogie et Cristallographie.
J.-P. MATHIEU ...	T	Physique (Optique).
COUTEAUX	T	Cytologie.
MAY	T	Zoologie (Orsay).
CHOQUET	T	Théorie des fonct. et topologie.
FELDMANN	T	Biologie végétale marine.
GUINIER	T	Physique des solides (Orsay)
JOST	T	Physiologie comparée.
FORTET	T	Calcul des probabilités et physique mathématique.
SCHWARTZ	T	Calcul différentiel et intégral.
CHOUARD	T	Physiologie végétale.
MALAVARD	T	Aviation (Techn. Aéronaut.).
BRELOT	T	Calcul différentiel et intégral.
NORMANT	T	Synthèse organique générale.
BÉNARD	T	Chimie minérale.
BUVAT	T	Botanique (E.N.S.).
DUGUÉ	T	Statistiques mathémat
SOULAIRAC	T	Psychophysiologie.
ULRICH	T	Physiologie végétale appliquée.
MARÉCHAL	T	Optique théorique et appliquée.
KIRRMANN	T	Théories chimiques.
CHADEFAUD	T	Botanique.
M^lle^ LE BRETON ..	T	Physiologie de la nutrition.
LELONG	T	Application de l'analyse à la géométrie.
DEVILLERS	T	Anatomie et Histologie comparées.
EHRESMANN	T	Topologie algébrique.
FRANÇON	T	Physique (S.P.C.N.).
GLANGEAUD	T	Géographie physique et Géologie dynamique.
GODEMENT	T	Mathématiques (M.G.P.).
PISOT	T	Techniques mathématiques de la physique
ROCH	T	Géologie.
SCHATZMAN	T	Astrophysique.
TERMIER	T	Géologie générale
ZAMANSKY	T	Mathématiques générales
LENNUIER	T	Physique (M.G.P.).
RIZET	T	Génétique (Orsay).
ROUTHIER	T	Géologie appliquée.
M^me^ TONNELAT ...	T	Physique théorique.
DIXMIER	T	Mathématiques (M.P.C.)
SOUCHAY	T	Chimie générale.
AIGRAIN	T	Électrotechnique générale.
BRUSSET	T	Chimie systématique.
M. LÉVY	T	Physique théorique des hautes énergies (Orsay).
M^me^ CHAIX	T	Chimie biologique.
M^me^ HUREL-PY ...	T	Biologie végétale (P.C.B.)
PIAUX	T	Chimie (M.P.C.).
BRUN	T	Mécan. théorique des fluides.
LEDERER	T	Chimie biologique.
M^me^ DUBREIL	T	Mathématiques (Agrég.).
M^me^ LELONG	T	Mathématiques II (E.N.S.).
BELLAIR	T	Géologie (S.P.C.N.).
COTTE	T	Physique électricité.
J.-E. DUBOIS	T	Chimie organique.
LAMOTTE	T	Zoologie (E.N.S.).
A MICHEL	T	Chimie minérale (Orsay)
OLMER	T	Énergétique générale.
ROUAULT	T	Électricité (Orsay).
GAUTHIER	T	Mécanique appliquee.
BARCHEWITZ	T	Chimie physique.
BROSSEL	T	Physique atomique.
BUSER	T	Physiologie comparée.
CAMUS	T	Physiologie végétale (Orsay).
CASTAING	T	Physique II Therm. (Orsay).
CURIEN	T	Minéralogie et Cristallographie.
MOYSE	T	Physiologie végétale (Orsay).
NOIROT	T	Évolution des êtres organisés.
PANNETIER	T	Chimie générale (Orsay).
POSSOMPES	T	Zoologie.
PULLMAN	T	Chimie quantique.
TEILLAC	T	Physique nucléaire et Radioactivité (Orsay).
TONNELAT	T	Biologie physico-chim. (Orsay).
VILLE	T	Économétrie.
WILLEMART	T	Chimie (P.C.B.).
DODE	T	Chimie (Orsay).
FREYMANN	T	Recherches physiques.
GUINOCHET	T	Biol. végét. (S.P.C.N.) (Orsay).
ROLLET	T	Chimie minérale.
M^lle^ JOSIEN	T	Chimie (S.P.C.N.).

PROFESSEURS *(suite)*

CHEVALLEY	T	Géométrie algébrique et théorie des groupes.
ARNOULT	T	Électronique (Orsay).
CHAPELLE	T	Physique I (Orsay).
DELANGE	T	Mathématiques I (Orsay).
DENY	T	Mathématiques générales (Orsay).
GERMAIN	T	Mécanique théorique des fluides.
G. LUCAS	T	Géologie.
ALLARD	T	Chimie physique.
BERTHELOT	T	Physique des particules fondamentales (Orsay).
BRICARD	T	Météorologie et physique de l'atmosphère.
Mme ALBE-FESSARD	T	Psychophysiologie.
FRIEDEL	T	Physique des solides (Orsay).
M. JULIA	T	Études des mol. naturelles complexes.
LENDER	T	Biol. animale (S.P.C.N.) (Orsay).
MAGAT	T	Physicochimie des radioéléments.
Mlle QUINTIN	T	Électrochimie.
MONOD	T	Chimie du métabolisme
BENOIT	T	Physiol. anim. (Orsay).
DE POSSEL	T	Analyse numérique.
CHARLOT	T	Chimie analytique.
LEMÉE	T	Écologie vég. (Orsay).
GUÉRIN	T	Chimie (M.P.C.) (Orsay)
M. CHATELET	T	Chimie (P.C.B.)
JEAN	T	Physique nucléaire (Orsay).
MATTLER	T	Physique (S.P.C.N.)
BERGERARD	T	Zoologie (Orsay).
BERTEIN	T	Électronique (Orsay)
BOUISSIÈRES	T	Radiochimie.
Mme COUTURE	T	Thermodynamique et mécanique physique.
ELLENBERGER	T	Géologie des grandes régions du globe.
FRANC	T	Biol. animale (P.C.B.).
SCHNELL		Botanique tropicale (Orsay).
STOLKOWSKI	T	Physiologie végétale.
ACHER		Chimie biol. (Orsay).
BAUDOIN		Biologie animale (P.C.B.)
BEAUMONT		Biologie animale (S.P.C.N.)
BLAMONT	T	Geophysique ionosphère
BOURREAU	T	Botanique.
D. CURIE		Physique (M.G.P.).
DURAND-DELGA ...	T	Géologie.
FRÉON	T	Chimie organique (Orsay).
HELLER	T	Physiologie végétale.
TORTRAT	T	Calcul des probabilités.
CAILLEUX	T	Géologie (S.P.C.N.).
MAGNAN	T	Physique (S.P.C.N.).
DAUDEL	T	Mécanique ondulatoire appliquée à la chimie théorique et à la physique nucléaire
Mlle FOURCROY ...	T	Biol. végétale (S.P.C.N.).
Mme CHOQUET-BRUHAT	T	Mécanique analytique et mécanique céleste.
Mlle VEIL	T	Physiologie générale.
LWOFF	T	Microbiologie.
SIESTRUNCK	T	Mécanique physique et expérimentale.
LACOMBE	T	Métallurgie des métaux nucléaires (Orsay).
BROCHARD	T	Physique P.C.B. (Orsay).
CABANNES	T	Mécanique générale.
LESIEUR	T	Mathématiques I (Orsay).
MAZET	T	Mécanique générale (Orsay).
CAIRE		Géographie phys. et Géol. dynamique
COMOLET	T	Mécanique des fluides
CORABŒUF	T	Physiologie animale (Orsay).
DELLOUE		Physique de l'exosphère
GORENFLOT		Botanique II (Orsay).
HOUILLON		Biologie animale (P.C.B.)
J. JULLIEN		Chimie S.P.C.N. (Orsay).
MALGRANGE	T	Techn. math. de la Phys
OLIVIER		Anthropologie.
NOZERAN	T	Botanique II (Orsay).
BLANC-LAPIERRE ..	T	Phys. E.N.S. (Orsay).
CHEVAUGEON	T	Botanique (Orsay).
KAHANE	T	Mathématiques (Orsay).
SAMUEL	T	Mathématiques E.N.S. féminines.
KOURGANOFF	T	Astronomie (Orsay).
THIRY	T	Mécanique céleste.
ABELES		Physique (S.P.C.N.).
AMAT	T	Physique (P.C.B.).
AUBOIN	T	Géologie.
Mme BENOIT-GUEUTAL	T	Phys. nucléaire et radioactivité (Orsay).
BOUGIS		Biologie marine (Villefranche-sur-Mer).
BRUHAT	T	Mathématiques (M.P.C.).
BRUNN	T	Géologie historique (Orsay).
CHABBAL	T	Physique M.G.P. (Orsay).
DEHEUVELS	T	Mathématique prope.
D'ESPAGNAT	T	Physique théorique (Orsay).
FURON	T	Géologie (S.P.C.N.).
Mme GANS	T	Génétique.
GENEVES		Biologie végétale (P.C.B.).
GUILBERT		Physique (C.U.S., Orléans).
HUPE	T	Pétrographie.
HOLLANDE	T	Biologie générale.
LIONS	T	Analyse numérique
MAITTE	T	Chimie (P.C.B.).
MEYER		Physique propédeutique
NICOLAS		Géologie appliquée
PANIGEL		Biologie générale.
RAVIER		Pétrographie.
ROSEAU	T	Mécan. théor. des fluides.
ROUBINE	T	Électronique.
SILBER	T	Chimie (P.C.B.).
UEBERSFIELD	T	Électronique.
YVON	T	Théories physiques.
HERVÉ	T	Mathématiques.
NÉRON	T	Mathémat. M.P.C. (Orsay).
Mme PECKER-WIMEL	T	Astrophysique.
BALKANSKY		Physique (M.P.C.).
LE CORRE	T	Électricité.
DELCROIX	T	Physique théorique (Orsay).
GOURDIN		Phys. théor. des Hautes Énergies (Orsay).
LEHMANN	T	Phys. exp. des Hautes Énergies (Orsay).
NATAF	T	Physique nucléaire et radioactivité (Orsay).
ECHALIER		Biologie animale (P.C.B.).
BARRAUD		Physiologie cellulaire.
LIORET		Physiologie végét. (Orsay).
DARS		Géologie struc. et géol appliquée.
CAMEFORT	T	Botanique (agrégation).
VICHNIEWSKY	T	Mécanique industrielle
BLAQUIÈRE		Électronique (Orsay).
ARNOUS	T	Physique théorique.
TATIBOUET		Chimie (C.S.U., Orléans)
MALLIAVIN	T	Mathématique propé. (Orsay).
GAUDEMAR		Chimie propé.
PEREZ Y JORBA ..	T	Phys. exp. des Hautes Énergies (Orsay).
DAVID	T	Chimie (Agrég., Orsay).
BROUSSE	T	Mécanique théorique.

Secrétaire Général ..... R. POULLAIN.

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK - LEIDEN -

A MES MAITRES

A Monsieur Pierre JACQUINOT
Professeur à la Faculté des Sciences de Paris

En témoignage de ma respectueuse gratitude.

A Monsieur Jean BLAISE
Maître de Recherches au C. N. R. S.

En témoignage de toute ma reconnaissance.

A LA MÉMOIRE DE MON PÈRE

A TOUTE MA FAMILLE

A TOUS CEUX QUI ME SONT CHERS

Thèse de Paris, 1964

Laboratoire « Aimé Cotton » Centre National de la Recherche Scientifique
(Professeur P. Jacquinot)
1, Place Aristide-Briand, Meudon-Bellevue (S.-et-O.)

ÉTUDE DU DÉPLACEMENT ISOTOPIQUE DU TUNGSTÈNE, DE L'OSMIUM, DU NÉODYME

CONTRIBUTION A LA CLASSIFICATION DES SPECTRES D'ARC DE CES ÉLÉMENTS

Par

Gilbert GLUCK

SOMMAIRE

Le déplacement isotopique est un instrument efficace utilisé par de nombreux auteurs [8] [9] [20] [21] [23] [25] [37] [38] [39] [48] [50] [54] [57], pour aider à la classification des spectres.

La mesure de déplacements isotopiques à l'aide d'appareils du genre Hypéac [19], constitue l'essentiel de la partie expérimentale de ce travail, dont les principaux résultats sont donnés ci-après.

Les déplacements isotopiques relatifs des isotopes 186, 184, 183, 182 et 180 du tungstène sont :

(1) (1,54 ± 0,02) (2,13 ± 0,02) (2,92 ± 0,03).

On observe une inversion du phénomène d'odd-even staggering provenant d'une position anormale de l'isotope 182.

Le spectre d'arc du tungstène a été étudié d'une manière exhaustive entre 3 841 Å et 6 128 Å, les déplacements isotopiques de 578 raies ont pu être mesurés.

On en a déduit le déplacement isotopique de 36 niveaux pairs inférieurs (des configurations $5d^4\,6s^2$ et $5d^5\,6s$) et de 12 niveaux pairs supérieurs ($5d^4\,6s\,7s$). Les niveaux 19 535,04 K et 19 826,04 K classés respectivement $5d^5\,6s\,{}^5G_5$ et $5d^4\,6s^2\,{}^3G_5$ doivent être permutés.

On en a déduit de même le déplacement isotopique de 152 niveaux impairs ($5d^3\,6s^2\,6p$, $5d^4\,6s\,6p$). Le multiplet $^7P^0$ appartient à la configuration $5d^4\,6s\,6p$ et non à la configuration $5d^5\,6p$. Les raies ultimes du spectre d'arc ne sont pas des transitions ($5d^5\,6s\,{}^7S_3 - 5d^5\,6p\,{}^7P^0$) mais bien des transitions ($5d^5\,6s\,{}^7S_3 - 5d^4\,6s\,6p\,{}^7P^0$) comme le pensaient Marck et Laporte. Les multiplets $^5F^0$ et $^5D^0$ appartiennent à la configuration $5d^3\,6s^2\,6p$ et non à la configuration $5d^4\,6s\,6p$.

La recherche systématique de nouveaux niveaux impairs a été faite à l'aide d'une calculatrice IBM 7 094 en associant déplacement isotopique et différences des nombres d'onde d'environ 2 000 raies non classées ou mal classées. Dix-sept nouveaux niveaux impairs, dont le niveau 41 637,57 $5d^5\,6p\,{}^7P^0$, ont été retenus.

Les déplacements isotopiques de 98 raies du spectre d'arc de l'osmium ont été mesurés.

On en a déduit le déplacement isotopique de 21 niveaux pairs inférieurs ($5d^6\,6s^2$, $5d^7\,6s$) et de 4 niveaux pairs

supérieurs ($5d^6\,6s\,7s$) ce qui conduit à la modification de 4 classifications de niveaux pairs inférieurs.

On en a déduit de même le déplacement isotopique de 43 niveaux impairs ($5d^6\,6s\,6p$, $5d^5\,6s^2\,6p$, $5d^7\,6p$), 8 classifications ont dû être modifiées.

Pour les niveaux pairs inférieurs, la comparaison des résultats expérimentaux avec les résultats théoriques concernant énergies, valeurs de g et configurations prépondérantes, est très satisfaisante. La même étude théorique a permis la découverte du premier niveau de la configuration $5d^8$.

Les configurations fondamentales des spectres d'arc du tungstène et de l'osmium étant $5d^4\,6s^2$ et $5d^6\,6s^2$, on pouvait s'attendre à ce que les constantes de déplacement isotopique expérimentales soient voisines.

Les valeurs respectives 116 ± 20 mK et 114 ± 14 mK qui ont été déterminées ont confirmé cette hypothèse.

Enfin les déplacements isotopiques de 56 raies du spectre d'arc du néodyme ont été mesurés. L'incohérence de certains résultats établis par Hassan [27] a été mise en évidence mais le caractère fragmentaire de l'étude entreprise, qui ne portait que sur l'intervalle 5 200 Å-6 000 Å, n'a pas permis de dégager des résultats généraux [54].

CHAPITRE PREMIER

DÉPLACEMENT ISOTOPIQUE DES ÉLÉMENTS LOURDS. UTILISATION SYSTÉMATIQUE DE CE DÉPLACEMENT

Le déplacement isotopique

Pour des éléments comme Nd, W, Os, le déplacement isotopique dû à l'effet de masse spécifique [29] ne dépasse pas 1 mK. Le déplacement isotopique est dû à l'effet de volume, la théorie de cet effet a été successivement discutée par divers auteurs [5] [51] [55] [11] [16] [17] [10]. Nous allons discuter seulement ici l'effet d'écran des électrons optiques entre eux.

Effet d'écran des électrons optiques entre eux. — La présence de deux électrons optiques s multiplie par m le déplacement isotopique relatif au seul électron s. On a :

m = effet d'écran mutuel de deux électrons s,

de même p = effet d'écran mutuel d'un électron p sur un électron s,

r = effet d'écran mutuel d'un électron d sur un électron s.

La constance de ces effets d'écran a été observée pour le mercure, le plomb, le néodyme, l'osmium [8], l'ytterbium, l'europium, le gadolinium [15]. On a :

$$m = \frac{\Delta T(s^2)}{\Delta T(s)} \simeq 1{,}6$$

$$p = \frac{\Delta T(sp)}{\Delta T(s)} \simeq 0{,}9$$

$$r = \frac{\Delta T(sd)}{\Delta T(s)} \simeq 0{,}8.$$

Par ailleurs J. Blaise [8] a trouvé pour le mercure :

$$\frac{\Delta T(d^n\,6s\,7s}{\Delta T(d^n\,6s} \simeq 1{,}05.$$

On pose $\Delta T(d^n s^2) = X$

$\Delta T(d^n s^2) - \Delta T(d^{n-1} s) = Y.$

On a :

$$Y = \frac{m-r}{m}\Delta T(d^n s) = \frac{m-r}{m}\Delta T(d^n s^2) = \frac{1}{2} X \text{ soit } X = 2Y$$

et on en déduit pour les niveaux :

TABLEAU I

$\Delta T(d^{n+1} s) = 0{,}5$	X
$\Delta T(d^n\,6s\,7s) = 0{,}655$	X
$\Delta T(d^{n-1} s^2 p) = 1{,}125$	X
$\Delta T(d^n sp) = 0{,}562\,5$	X

On trouve de même pour les transitions en posant $\Delta T(d^{n+1} p) \simeq 0$:

$$\begin{aligned}
\Delta T(d^n sp) - \Delta T(d^n s^2) &= -0{,}437\,5\ X \\
\Delta T(d^n sp) - \Delta T(d^{n+1} s) &= +0{,}062\,5\ X \\
\Delta T(d^{n+1} p) - \Delta T(d^n s^2) &= -\ X \\
\Delta T(d^{n+1} p) - \Delta T(d^{n+1} s) &= -0{,}5\ X \\
\Delta T(d^{n-1} s^2 p) - \Delta T(d^n s^2) &= +0{,}125\ X \\
\Delta T(d^{n-1} s^2 p) - \Delta T(d^{n+1} s) &= +0{,}625\ X \\
\Delta T(d^n\,6s\,7s) - \Delta T(d^{n-1} s^2 p) &= -0{,}47\ X \\
\Delta T(d^n\,6s\,7s) - \Delta T(d^n sp) &= +0{,}092\,5\ X \\
\Delta T(d^n\,6s\,7s) - \Delta T(d^{n+1} p) &= +0{,}655\ X.
\end{aligned}$$

On détermine Y à l'aide de couples de raies faisant intervenir des niveaux pairs profonds de configurations $(d^n s^2)$ et $(d^{n+1} s)$ pratiquement pures et aboutissant pour chaque couple au même niveau impair. On calcule les divers éléments des tableaux précédents et le déplacement isotopique d'une raie permet alors de connaître les configurations prépondérantes des niveaux qu'elle relie.

Remarque. — Les effets d'écran des électrons des couches saturées sont exprimés par un coefficient β qui multiplie la constante expérimentale. Ce coefficient est très peu différent de 1 [30] [31].

Choix d'un niveau de référence. — Expérimentalement on détermine le déplacement isotopique des raies ; pour attribuer des déplacements isotopiques aux niveaux il faut choisir un niveau de référence. H. Kopfermann [39] et J. Blaise [8] ont montré qu'on pouvait attribuer un déplacement isotopique nul à un niveau remplissant les conditions suivantes :

1) La configuration a un n ou un l élevé, ΔT, étant inversement proportionnel à n^{*3}, tend vers zéro.

2) La configuration ne comporte ni électron s ni électron $p_{1/2}$. Le choix du niveau de référence est délicat pour un spectre complexe car il nécessite une grande connaissance du spectre étudié et on n'atteint souvent que des niveaux appartenant à un mélange de configuration comme le confirme l'étude du couplage intermédiaire. Par ailleurs la détermination de X par la relation $X = 2\ Y$ est grossière car les incertitudes relatives sur m, p, r sont d'environ 10 p. 100.

Utilisation systématique du déplacement isotopique

Les travaux de G. Racah [51], J. E. Rosenthal et G. Breit [55], l'étude de H. Kopfermann sur les moments nucléaires [39], les thèses de J. Blaise [8], S. Gerstenkorn [25] et M. Diringer [21] ont permis d'énoncer les règles suivantes :

1° Le déplacement isotopique relatif pour un corps ayant plusieurs isotopes est indépendant des raies envisagées.

2° Tous les niveaux appartenant à une seule configuration C ont le même déplacement isotopique ΔT_c, par suite toutes les transitions entre un niveau de configuration C et un niveau d'une autre configuration D auront le même déplacement isotopique $\Delta T_c - \Delta T_D$.

3° En réalité les configurations de même parité se perturbent, les niveaux ne sont pas purs et chacun d'eux est caractérisé par une configuration qui est seulement prépondérante. Les déplacements isotopiques des niveaux ayant la même configuration prépondérante ne sont pas identiques, mais apparaissent bien groupés autour d'une valeur moyenne.

Soit un ensemble de raies reliant deux configurations, un tel ensemble est caractérisé par son déplacement isotopique moyen ; si une raie de cet ensemble a un déplacement isotopique trop différent du déplacement isotopique moyen on peut en déduire, soit que cette raie est mal classée, soit que la configuration attribuée à l'un des niveaux qu'elle relie est incorrecte. Enfin si un niveau est défini par peu de raies et que celles-ci conduisent à lui attribuer des déplacements isotopiques différents, il est probable que ce niveau n'existe pas.

La mesure du déplacement isotopique permet de définir les différents types de transition auxquels peut appartenir une raie et contribue à la classification de cette raie [8] [14] [21] [25].

Assez souvent, diverses transitions ont sensiblement la même longueur d'onde mais on observe parfois seulement une raie. La détermination des déplacements isotopiques prévus peut montrer par comparaison avec le déplacement isotopique mesuré que seule une des classifications proposées correspond à la raie observée. Celle-ci étant la plus intense on constate en général que cette classification correspond la mieux avec le nombre d'onde observé.

CHAPITRE II

MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

Spectromètre Fabry-Pérot photoélectrique

P. Jacquinot et Ch. Dufour mirent au point en 1948 à Bellevue un spectromètre Fabry-Pérot photoélectrique [23] [32]. Cet appareil a été décrit en détail au Colloque International de Spectroscopie [7] [18]. Puis R. Chabbal et P. Jacquinot donnèrent au spectromètre une forme plus élaborée; ce nouvel appareil fut désigné sous le nom d'Hypéac [19].

J'ai utilisé un Hypéac et un spectromètre Fabry-Pérot photoélectrique mis au point par Chabbal, Blaise, Chantrel ; cet appareil a été décrit dans le *Journal de Physique* [7]. La cathode en duralumin était recouverte intérieurement d'une feuille de tungstène venant s'appuyer sur un cercle de tungstène garnissant le fond. Le tungstène employé avait 5/100 mm d'épaisseur. L'expérience a montré que la décharge ne se faisait pas uniquement sur le fond mais aussi sur la partie inférieure de la paroi cylindrique. Pour l'étude du spectre de l'osmium on utilisait du métal en poudre et pour l'étude du spectre du néodyme de l'oxyde de néodyme Nd_2O_3, les quantités étant de l'ordre du centigramme. La durée de vie moyenne d'une cathode était d'une centaine d'heures. L'intensité moyenne du courant était de 30 mA, et les valeurs extrêmes de ce cou-

rant 5 mA et 100 mA. Pour réduire l'effet Doppler la cathode était plongée dans un vase Dewar plein d'azote liquide. Le gaz porteur était le néon, un piège à charbon actif refroidi à l'azote liquide servant à purifier le circuit. La pression optimale était réalisée pour chaque raie et variait par exemple de 0,6 à 0,8 mm de mercure pour une intensité de courant variant de 20 à 60 mA.

La monture d'étalon réglable en épaisseur décrite par Dufour [24] a été souvent utilisée ainsi que des montures d'étalon avec anneau de silice, montures fabriquées par Hilger et aimablement mises à notre disposition par le docteur D. A. Jackson. Pour l'Hypéac on disposait de montures réglables en épaisseur dont la stabilité est peu inférieure à celle des étalons à cales fixes. Les lames utilisées étaient des 7 couches $\frac{\lambda}{4}$ de sulfure de zinc et de cryolithe. Pour l'ultra-violet les lames étaient des 7 couches $\frac{\lambda}{4}$ de fluorure de plomb et de cryolithe ; un dépôt d'argent sur le bord extérieur permettait le réglage de ces lames. Ces lames doivent être employées rapidement après leur réalisation car elles se dégradent au cours du temps sans doute en raison d'une attaque de la couche extérieure comme l'a indiqué P. Giacomo [26]. Nous avons employé avec plus de succès des lames aluminées prêtées par H. Boiteux qui ont fourni des résultats intéressants pour des raies dont la longueur d'onde était comprise entre 3 200 Å et 4 000 Å.

Le récepteur était pour l'intervalle 0,4 μ-0,6 μ une cellule RCA 1P 21 et pour l'ultra-violet une cellule RCA 1P 28. Ces cellules étaient alimentées sous une tension comprise entre 800 et 1 100 V. Pour l'intervalle (0,6 μ-0,8 μ) le récepteur était une cellule EMI 9 558 B alimentée sous une tension comprise entre 1 000 et 1 400 V et refroidie par un mélange acétone-carboglace.

Toutes les raies mesurées ont été étudiées avec diverses épaisseurs d'étalon. On a pu ainsi éventuellement identifier une raie étrangère qui se trouvait placée différemment par rapport à la raie recherchée sur les divers enregistrements. La figure 1 correspond aux raies 4 137,475 Å et 4 138,030 Å du tungstène qui ont — 55 mK et 0 mK comme déplacements isotopiques (186 — 184). La différence $\sigma_2 - \sigma_1$ des nombres d'onde de ces 2 raies est 3 240 mK ; l'enregistrement séparera au mieux les 2 raies si $(\sigma_2 - \sigma_1)$ est égal à $(K + \frac{1}{2})$ fois l'intervalle spectral libre $\Delta\sigma$, K étant un entier. Pour augmenter la résolution on a intérêt à prendre $\Delta\sigma$ le plus petit possible (Tableau II).

L'étude des raies peu intenses oblige à déterminer chaque fois le meilleur compromis à réaliser entre divers paramètres : augmentation de $\Delta\sigma$ mais la résolution diminue ; augmentation du courant cathodique mais la largeur Doppler augmente ; diminution du shunt de l'adaptateur d'impédance mais la dérive de l'enregistreur augmente dans le même rapport ; augmentation de la tension d'alimentation de la cellule photomultiplicatrice mais des signaux parasites se superposent au bruit de fond qui a comme dans le cas du changement de shunt, augmenté dans la même proportion que le signal.

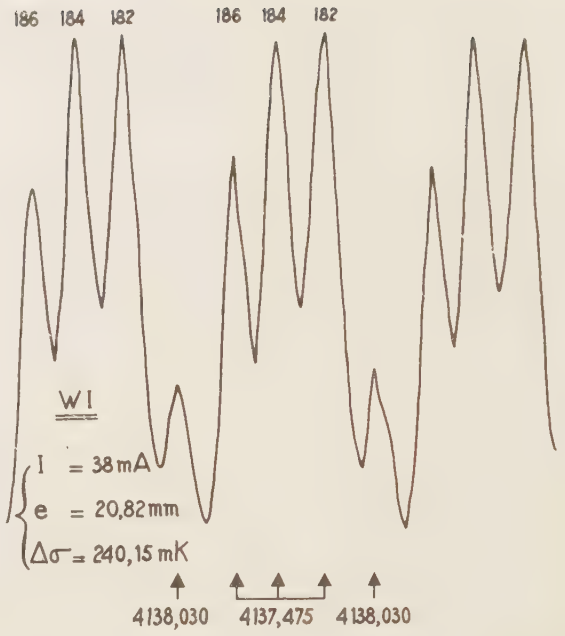

FIG. 1.

TABLEAU II

K	Δσ (mK)	e (cm)
15	209,032	2,392 0
14	223,448	2,238 1
13	240,000	2,083 3
12	259,200	1,929 0

Pour le tungstène chaque raie a été enregistrée avec au moins deux épaisseurs différentes d'étalon. Les intervalles spectraux libres ont varié de 150 mK à 920 mK. La distance des lames de l'étalon était mesurée au comparateur avant et après chaque série d'enregistrements avec une incertitude de 0,01 mm soit pour un intervalle spectral libre une incertitude de 0,05 mK à 2 mK. La linéarité de deux enregistrements est assurée à 5.10^{-3} près ce qui pour une distance de 50 mK, ordre de grandeur des déplacements isotopiques mesurés, donne une incertitude de 0,25 mK. Ce résultat est indépendant de l'intervalle spectral libre utilisé. On peut estimer au mieux à 0,3 mK l'erreur sur la mesure d'un déplacement isotopique de 50 mK, si on a pu déterminer les positions des composantes de l'isotope 183 avec précision.

La durée du balayage d'un ordre a toujours été choisie par rapport à la constante de temps de l'enre-

gistrement de manière à ne pas introduire d'erreur appréciable : Par exemple 36 minutes pour 166 mK correspondent à 13 secondes par mK soit, pour une largeur à mi-hauteur de 17 mK, à 221 secondes, valeur plus de 60 fois supérieure à 3,3 secondes de la constante de temps ; or on considère qu'on n'introduit pas d'erreur appréciable dès que le temps de balayage de la largeur à mi-hauteur d'une composante est plus grand que douze fois la constante de temps.

Pour des raies peu intenses, la détermination des axes des diverses composantes et l'évaluation des positions des principales composantes du 183 entraînent une incertitude de 1 mK pour des déplacements isotopiques de 40 à 20 mK et de 2 mK pour des déplacements de 5 à 15 mK.

Mesure relative des intensités des raies d'arc émises en cathode creuse

La réponse de l'enregistreur dépend des facteurs suivants :

— Résistance d'entrée ;
— Shunt de sortie ;
— Tension d'alimentation de la cellule photomultiplicatrice ;
— Intensité du courant dans la cathode creuse ;
— Rapport de l'intensité transmise par le Fabry-Pérot à l'intensité incidente pour une surface donnée du Fabry-Pérot.

Pour avoir des mesures relatives des intensités, il a fallu définir pour chacune de ces variables un état de référence et étalonner la réponse de l'appareil en fonction de chaque variable prise séparément.

Le tableau III donne les caractéristiques des principaux étalons utilisés et le facteur F par lequel il faut multiplier la valeur absolue de l'intensité I pour que les étalons soient équivalents. Il convenait enfin de tenir compte de la courbe de sensibilité de chaque récepteur en fonction de la longueur d'onde.

Tableau III

λ (en Å) du maximum de résolution du F. P.	Finesse réflectrice $N_R = \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R}$	Finesse limite N_D	Transparence T du Fabry-Perot	Facteur F
4 200	75	40	0,60	1,3
4 300	75	40	0,60	1,3
5 200	75	40	0,53	1,5
5 700	60	40	0,79	1
5 900	60	40	0,79	1
Lames aluminées (Valeur pour 3 700 Å)	20	30	0,17	4,7

L'incertitude est de l'ordre de 30 p. 100 sur I.

CHAPITRE III

LE TUNGSTÈNE

Caractéristiques du tungstène

Le tungstène de numéro atomique Z = 74 a pour état fondamental $5d^4\,6s^2\,{}^5D_0$.

En 1938 D. D. Laun [43] a publié les résultats des travaux effectués entre 2 100 Å et 3 100 Å sur les spectres d'arc et d'étincelle du tungstène. Il a donné les longueurs d'onde des raies observées, déterminé par étude de l'effet Zeeman les *g* d'un certain nombre de niveaux, ainsi que 89 niveaux du spectre d'arc les multiplets ^6D et ^6S du spectre d'étincelle. En 1943 J. E. Marck et O. Laporte [42] ont classé 2 378 raies et déterminé 300 niveaux. K. Murakawa a publié [46] [47] en 1953, puis en 1956, des résultats relatifs au déplacement isotopique et à la structure hyperfine confirmant plusieurs désignations de configurations et attribuant à certains niveaux la configuration $5d^3\,6s^2\,6p$. En 1950 à partir des résultats de Laun, Ch. Moore [45] retient 354 niveaux classant environ 3 700 raies et dans Atomic Energy Levels donne comme raie ultime la transition $5d^5\,6s\,{}^7S_3 \cdot 5d^5\,6p\,{}^7P^0_4$.

Le tableau IV donne les abondances des cinq isotopes du tungstène naturel d'après D. Williams et P. Yuster [64].

Tableau IV

Isotopes	180	182	183	184	186
Abondances en p. 100	0,135	26,4	13,4	30,6	28,4

L'isotope impair 183 de spin $I = \frac{1}{2}$ se sépare en 2, 3 ou 4 composantes suivant la transition étudiée ; dans la majorité des cas les deux composantes les plus intenses coïncident approximativement l'une avec l'isotope 182 et l'autre avec l'isotope 184.

Déplacement isotopique relatif. — Toutes les raies dont les déplacements isotopiques ont permis le calcul

du déplacement isotopique relatif appartiennent à l'un des deux types de transitions :

$$5d^4\,6s^2 - 5d^4\,6s\,6p$$
$$5d^5\,6s - 5d^3\,6s^2\,6p.$$

Ces deux types de transitions avaient été reconnus par Murakawa [46] en raison de la grandeur et du sens de déplacement isotopique observé. Pour leurs expériences Kopfermann et Meyer [40] puis Murakawa à deux reprises [46] [47] utilisèrent du tungstène naturel, Vreeland et Murakawa [62] [63] par deux fois utilisèrent des échantillons enrichis en ^{183}W et ^{180}W, tandis que Barr et Jenkins [4] avaient utilisé un échantillon enrichi en ^{180}W.

Les déplacements isotopiques relatifs sont rassemblés dans le tableau V. La précision a été indiquée chaque fois que les données des auteurs le permettaient.

TABLEAU V

Auteurs	186	184	183	182	180
Kopfermann-Meyer (1947)	0	1		2,11	
Vreeland-Murakawa (1951)	0	1		2,13	3,15
Murakawa (1953)	0	1		2,206±0,010	
Murakawa (1953)	0	1		2,206±0,010	3,08±0,07
Barr-Jenkins (1956)	0	1		2,136	2,91
Vreeland-Murakawa (1958)	0	1		2,205±0,03	2,98±0,10
Blaise-Gluck (1959)	0	1	1,54±0,02	2,13 ±0,02	2,92±0,05

Kopfermann et Meyer pensent qu'en raison du phénomène d' « odd-even staggering » l'isotope 183 est plus proche de l'isotope 182 que de l'isotope 184, par contre Murakawa l'estime équidistant de ces deux isotopes en analysant la raie 4 269 Å ($5d^5\,6s\,^7S^1_3 - 5d^3\,6s^2\,6p\,263^0_2$). Dans ces conditions il a paru intéressant d'étudier une raie du spectre d'arc dans laquelle l'isotope impair ne présente pas de structure hyperfine. Il est bien connu que les niveaux spectraux de configuration $d^n\,s^2$ ont des structures hyperfines négligeables, et que, pour le tungstène, les structures hyperfines doivent être attribuées aux niveaux de configuration $5d^5\,6s$ ou $5d^4\,6s\,6p$. Il convient donc d'étudier une transition entre un niveau de configuration $5d^4\,6s\,6p$ pour lequel J = 0 et un niveau de configuration $5d^4\,6s^2$ pour lequel J = 1. La raie la plus intense de ce type est la raie 5 642 Å ($5d^4\,6s^2\,^5D_1 - 5d^4\,6s\,6p\,^7F^0_0$).

La figure 2 montre un enregistrement obtenu avec une constante de temps de 3,3 secondes, la durée du balayage d'un ordre étant 36 minutes. La largeur à mi-hauteur des quatre composantes visibles est identique et égale à 18,0 mK, les intensités relatives sont exactement celles indiquées par Williams et Yuster, par suite l'isotope 183 ne se décomposant pas, le niveau $5d^4\,6s^2\,^5D_1$ a bien comme prévu une structure hyperfine

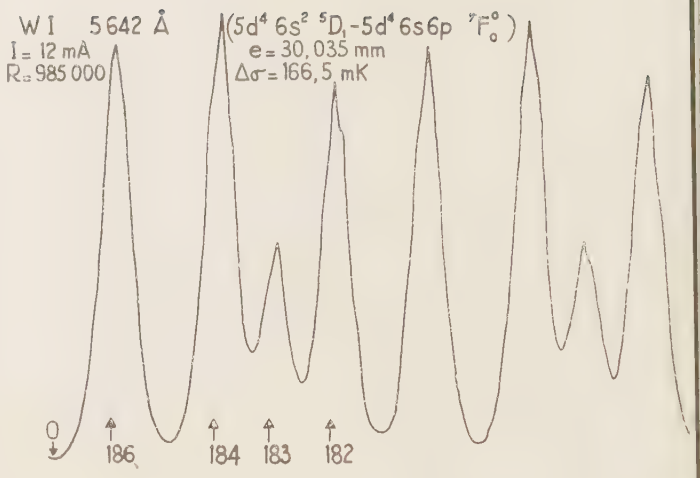

FIG. 2.

nulle. Dans ces conditions, la mesure des distances entre composantes fournit directement les déplacements isotopiques relatifs des quatre isotopes les plus importants. En raison de sa faible intensité il n'est évidemment pas question de déceler l'isotope 180 qui avec l'épaisseur d'étalon choisie tombe sur la composante ^{186}W d'ordre inférieur. Le tableau VI indique les résultats obtenus.

TABLEAU VI

Isotopes	186	184	183	182
Position des composantes en mK.	0	−55,0±0,3	−84,5±0,5	−117,0±0,3
Déplacements isotopiques relatifs.	0	1	1,54±0,02	2,13±0,02

Ces résultats ont été confirmés par les mesures faites sur 22 raies intenses qui sont des transitions entre le multiplet fondamental $5d^4\,6s^2\,^5D$ et les multiplets $5d^4\,6s\,6p\,^7F^0$, $^7D^0$, $^7P^0$; pour ces raies les positions des composantes de l'isotope 183 ont pu être déterminées par planimétrage [9].

La position de l'isotope 180 a été déterminée sur les raies 4 982,613 Å ($^5D_0 - 200^0_1$) ; 5 015,53 Å ($^5D_3 - 247^0_4$) ; 5 069,15 Å ($^5D_2 - 230^0_3$) et 5 224,66 Å ($^5D_3 - 239^0_2$) avec un intervalle spectral libre de 240 mK. Avec un courant de 15 mA la distance 186 — 180 est facilement mesurable avec une incertitude de ± 2 mK. La hauteur de la composante ^{180}W est de 8 mm sur l'enregistrement de la raie 4 982,613 Å. Pour l'ensemble des 5 isotopes stables du tungstène, les déplacements isotopiques relatifs sont donnés dans le tableau VII.

La comparaison avec le tableau V montre le complet accord avec les résultats de Barr et Jenkins pour les isotopes pairs.

TABLEAU VII

Isotopes	186	184	183	182	180
Déplacements isotopiques relatifs	0	1	1,54 ± 0,02	2,13 ± 0,02	2,92 ± 0,05

Cependant l'étude de la raie 4 269 Å ($5d^5\,6s\,{}^7S_3 - 5d^3\,6s^2\,6p\,263^0_2$) qui a entre les composantes 186 et 184 un déplacement isotopique de + 81,0 mK, fournit un résultat un peu différent (tableau VIII).

TABLEAU VIII

Isotopes	186	184	182
Déplacements isotopiques relatifs	0	1	2,20 ± 0,02

Il est intéressant de constater que ce résultat s'accorde avec ceux de Murakawa publiés en 1953 et en 1956. On voit par ailleurs dans le tableau IX que les résultats donnés par Murakawa pour les autres raies sont nettement différents dans ses deux publications.

TABLEAU IX

Donnant le déplacement relatif 186 — 182, le déplacement 186 — 184 étant pris comme unité.

Raies en Å		Murakawa 1953	Murakawa 1956	Bellevue 1960
4 269	$d^5\,s - d^3\,s^2\,p$	2,20	2,205	2,20 ± 0,02
4 404	$d^4\,s^2 - d^4\,s\,p$	2,20	2,24	2,13 ± 0,02
4 887	$d^4\,s^2 - d^4\,s\,p$	2,195	2,175	2,13 ± 0,02
4 983	$d^4\,s^2 - d^4\,s\,p$	2,165	2,205	2,13 ± 0,02
5 015	$d^4\,s^2 - d^4\,s\,p$	2,13	2,205	2,13 ± 0,02
5 388	$d^5\,s - d^3\,s^2\,p$	2,07		2,18 ± 0,02
5 515	$d^4\,s^2 - d^4\,s\,p$	2,07	2,19	2,13 ± 0,02

La raie 5 388 Å appartient au même type de transition que la raie 4 269 Å et a aussi un déplacement relatif $\frac{\Delta T\,(182-186)}{\Delta T\,(184-186}$ supérieur à celui des raies de la transition $d^4\,s^2 - d^4\,sp$. Cette variation du déplacement isotopique relatif suivant le type de transition envisagé est à rapprocher des résultats obtenus par Schroeder et Mack [56] pour Ni I et des résultats de Striganov [59] pour Sm I et Sm II. Ce dernier auteur indique pour le Sm I les résultats suivants :

Déplacements relatifs	144-148	148-150	150-152	152-154
5 157 Å ($f^6\,s^2 - f^6\,s\,p$)	2,00 ± 0,02	1,18 ± 0,01	1,64 ± 0,01	0,89 ± 0,01
5 175 Å ($f^6\,s^2 - f^5\,d\,s^2$)	2,00 ± 0,02	1,26 ± 0,01	2,03 ± 0,02	0,84 ± 0,01

Striganov attribue la disparité des résultats à un nouveau phénomène « soit un effet de perturbation entre niveaux voisins de deux configurations électroniques différentes, soit un effet d'écran des électrons *s* pénétrants ». Cependant W. H. King [34] reprenant les résultats de Striganov a montré qu'il n'était pas nécessaire d'invoquer une nouvelle interaction car il suffirait, pour certains niveaux du samarium, d'un effet de masse spécifique six fois plus important que l'effet de masse propre pour rendre compte des disparités observées.

Un rapport de cet ordre de grandeur entre effet de masse spécifique et effet de masse propre a été trouvé pour le nickel [56] et le ruthénium, mais jusqu'ici aucune explication quantitative générale n'a pu être donnée.

Il conviendrait d'étudier, pour divers types de transition, le déplacement isotopique relatif d'un élément très lourd, pour lequel l'effet de masse spécifique devient certainement faible. Si cet effet évalué avec précision, était trop petit pour entraîner la variation observée du déplacement isotopique relatif, il faudrait reprendre l'étude des hypothèses de Striganov. D'autres hypothèses peuvent d'ailleurs être envisagées : il se peut par exemple, que les effets d'écran mutuel des électrons optiques varient d'un isotope à l'autre, ce qui modifierait aussi le déplacement isotopique relatif.

Position relative de l'isotope impair par rapport aux isotopes pairs

La séparation ΔT (182 — 183) est supérieure de 10 p. 100 à la séparation ΔT (183 — 184) alors que pour tous les éléments étudiés jusqu'à présent on constate le déplacement de l'isotope impair vers l'isotope pair le plus léger (odd-even staggering) [12].

En fait c'est la position relative de l'isotope 182 par rapport aux autres isotopes qui est anormale. Les isotopes 186, 184, 180 sont sensiblement alignés sur la courbe donnant leurs positions relatives en fonction du nombre de nucléons.

Le reversement de l'odd-even staggering correspond à la position anormale de l'isotope 182, position indiquant une décroissance du carré du paramètre de déformation du noyau bien plus rapide entre le couple d'isotopes (180 — 182) qu'entre les couples (182 — 184) et (184 — 186).

Étude du déplacement isotopique dans le spectre de W I. — Partant de la classification de Mack et Laporte [42] nous avons d'abord étudié les raies données dans le tableau XI ; au-dessous de la longueur d'onde de la raie en Å est indiqué son déplacement isotopique ΔT (184 — 186) en mK.

On peut penser que les niveaux pairs les plus profonds, dont ceux portés dans le tableau XI, sont pratiquement purs. On a alors :

$$Y = \Delta T(d^4\,s^2) - \Delta T(d^5\,s) = 69 \pm 1\ \text{mK}.$$

TABLEAU X *(a)*

Dans le tableau 10 les nombres d'onde des niveaux pairs sont donnés en Kaysers, les nombres d'onde des niveaux impairs sont donnés par leurs trois premiers chiffres. Les J des niveaux sont portés en indices.

Niveaux impairs \ Niveaux pairs	$^5D_0$	$^5D_1$	$^5D_2$	$^5D_3$	$^5D_4$	$^7S_3$	$^3P_0$	$^3P_1$	$^3P_2$	$^3H_4$	$^3H_5$	$^3H_6$	$^3G_3$	$^3G_4$	$^5G_5$(*)	$^3F_2$
	0	1 670	3 325	4 830	6 219	2 951	9 528	13 307	19 253	12 161	15069	17 008	13 348	16 431	19 826	13 770
200_1	4 982,6 − 52	5 435,1 − 54	5 972,5 − 55													
230_3			5 069,1 − 54	5 487,8 − 54												
274_3			4 137,5 − 55	4 412,2 − 55	4 700,4 − 55	4 074,4 + 12										
278_4					4 613,3 − 56	4 008,8 + 12										
281_1		3 768,5 − 34	4 019,2 35				5 354,5 − 38									
287_4				4 171,2 − 51		3 868,0 + 16										
297_5					4 244,4 − 48											
305_3				3 881,4 − 38	4 102,7 − 38								5 799,5 − 38	7 062,5 − 37		5 947,6 − 34
328_4					3 757,1 0					4 837,5 0	5 629,6 0		5 132,16 1	5 756,1 0		
342_3										4 530,5 + 10			4 787,9 + 9	5 617,3 + 10		4 888,4 + 12
344_2								4 720,31 + 21					4 729,62 + 5			
361_1									5 902,7 − 6							4 460,5 − 13
373_5										3 975,5 − 17	4 495,5 − 17	4924,6 − 19		4 788,4 − 17		
382_3									5 274,8 − 31							
387_4											4 222,1 − 53				5 283,3 − 8	
390_2								3 886,5					3 892,73			3 958,8
409_3																
429_4															4 330,0 − 8	
430_4															4 307,6 0	
440_3																
451_4																
476_4																

(*) Classé $^3G_5$ dans AEL [54].

TABLEAU X *(b)*

Niveaux pairs / Niveaux impairs	$^3F_3$	$^3F_4$	$^3D_3$	$^3D_2$	$^3D_1$	$^5G_2$	$^5G_3$	$^5G_4$	$^3G_5$ (*)	$^5G_6$	$^5S_2$	$^5P_3$	$^5P_2$	$^5P_1$	$^5D_4$	$^4F_4$ (**)
	17_3	17_4	15_3	14_2	18_1	18_2	18_3	19_4	19_5	19_6	$18'_2$	19_3	20_2	20_1	22_4	$22'_4$
	17 701	17 107	15 459	14 976	18 082	18 116	18 974	19 256	19 535	19 648	18 280	19 827	20 983	20 427	22 476	22 852
200_1																
230_3																
274_3																
278_4																
281_1																
287_4																
297_5																
305_3																
328_4			5 756,1 − 4													
342_3		5 839,0 + 9														
344_2			5 254,5 0	5 124,2 + 11												
361_1				4 712,5 − 11	5 521,0 − 13	5 531,4 + 42										
373_5		4 948,6 − 17						5 537,8 + 49	5 624,6 − 17	5 660,7 + 50						
382_3	4 875,4 − 48	4 738,2 − 43				4 976,3 + 14		5 275,6 + 24			5 017,2 + 18	5 439,6 − 2				
387_4								5 128,8 + 13	5 203,3 − 53			5 283,3 − 11				
390_2			4 241,5 − 27			4 780,3 + 35	4 984,7 0					5 206,2 + 20	5 539,5 + 19	5 374,2 + 40		
409_3		4 197,56 − 49	3 926,05 − 53								4 415,1 + 13		5 013,5 − 6		5 419,4 − 10	
429_4								4 226,3 + 14	4 276,7 − 53			4 330,9 − 12			4 892,4 − 14	4 984,1 + 3
430_4	3 946,3 − 48							4 204 D								
440_3						3 859,3 + 3		4 036,9 + 12				4 132,2 − 13	4 339,3 − 12		4 640,3 − 17	
451_4							3 824,1 − 19					3 953,1 0				
476_4															3 965,6 − 2	

(*) Classé $^5G_5$ dans AEL [54].
(**) Classé $^5F_4$ dans AEL [54], rectification confirmée par D. D. Laun que je tiens à remercier ici. D : raie à déclasser.

TABLEAU X *(c)*

A droite du double trait : niveaux pairs supérieurs.

Niveaux impairs \ Niveaux pairs	23_3	27_5	28_5	$^7D_1$	$^7D_2$	$^7D_3$	$^7D_4$	$^7D_5$	$^5D_0$	$^5D_1$	$^5D_2$	$^5D_3$	$^5D_4$	
	23_3	27_5	28_5	43_1	44_2	46_3	47_4	49_5	45_0	46_1	48_2	49_3	51_4	55_4
	23 930	27 849	28 233	43 451	44 919	46 496	47 975	49 354	45 225	46 458	48 078	49 656	51 123	55 333
200_1				4 274,6 + 8	4 022,1 + 10									
230_3					4 570,7 + 9	4 263,3 + 8	4 010,4 + 12					3 757,1 + 18		
274_3					5 735,1 + 11	5 259,4 + 10	4 879,7 + 13							
278_4						5 372,9 + 10	4 977,2 + 15	4 657,5 + 15						
281_1					5 978,9 − 10				5 871,0 − 6	5 475,1 0	5 029,0 0			
287_4						5 648,4 + 4	5 212,8 + 8	4 863,0 + 7				4 792,8 + 15		
297_5							5 492,3 + 6	5 105,5 + 7					4 682,6 + 10	
305_3							5 749,2 − 4						4 861,2 0	4 039,8 − 8
328_4													5 464,5 − 37	
342_3														
344_2														
361_1														
373_5														
382_3														
387_4														
390_2														
409_3														
429_4														
430_4														
440_3														
451_4	4 718,6 + 4													
476_4		5 039,0 0	5 138 − 3											

La valeur du déplacement isotopique du fondamental serait :

$$X = 2Y = 138 \text{ mK}.$$

Vu les imprécisions sur les valeurs exactes des constantes d'écran il est préférable de garder le niveau fondamental comme référence, les déplacements isotopiques étant alors exprimés en fonction de X, X étant supérieur ou égal à 138 mK avec les valeurs des constantes d'écran données plus haut. En effet la valeur de Y est obtenue par défaut car :

1° La composition des niveaux $^5D_1$ et $^5D_2$ dont la configuration prédominante est $5d^46s^2$ comportent selon Racah (*) respectivement 4 p. 100 et 5 p. 100 de

(*) Résultats aimablement communiqués par le Professeur Racah que je tiens à remercier ici.

TABLEAU XI

Niveaux impairs \ Niveaux pairs		$^5D_1$	$^5D_2$	$^5D_3$	$^5D_4$	$^7S_3$
$^7F^0_2$	214	5 054,6 — 54	5 516,5	6 015,7 — 55	—	5 404,6 + 13
$^7D^0_2$	239	4 484,2 — 48	4 843,8 — 49	5 224,7 — 49	—	4 757,6 + 20
$^7D^0_3$	261	—	4 372,5 — 56	4 680,5 — 56	5 006,2 — 56	4 302,1 + 12
$^7D^0_4$	287	—	—	4 171,2 — 51	4 427,8	3 868,0 + 16
J = 2	276	3 846,2 — 10	4 107,8 — 11	4 378,5 — 11	—	4 045,6 + 57
J = 3	291	—	3 872,8 + 10	4 112,5	4 361,8 + 11	3 817,5 + 79
$^7P^0_2$	262	4 070,6 — 43	4 364,8 — 44	4 071,7 — 45	—	4 294,6 + 24
$^7P^0_3$	274	—	4 137,5 — 55	4 412,2 — 55	4 700,4 — 55	4 074,4 + 12
$^7P^0_4$	278	—	—	4 335,3	4 613,3 — 56	4 008,8 + 12
$^5D^0_2$	291	3 632,0	3 864,3 — 7	4 102,9	—	3 809,2 + 61
$^5D^0_3$	299	—	3 760,1 — 9	3 985,6	4 219,4 — 10	3 707,9 + 59

la configuration $5d^56s$ et 0,8 p. 100 et 1 p. 100 de la configuration $5d^6$, ce qui tend à diminuer leur déplacement isotopique.

2° De même la composition du niveau $^7S_3$ dont la configuration prédominante est $5d^56s$ comporte selon Racah 0,3 p. 100 de la configuration $5d^46s^2$ et 0,01 p. 100 de la configuration $5d^6$ ce qui tend à augmenter son déplacement isotopique.

Les déplacements isotopiques de 578 raies ont été mesurés.

A partir de la classification de Mack et Laporte [42] on a construit un tableau rectangulaire où ont été portés les déplacements isotopiques mesurés. Le tableau X est un extrait de ce tableau général. Ce tableau X comporte tous les niveaux pairs sauf 2 et un certain nombre de niveaux impairs. L'examen de ce tableau montre que sur une même ligne on a des valeurs sensiblement égales correspondant à des niveaux pairs de même configuration. On évalue de proche en proche les déplacements isotopiques des divers niveaux.

Le tableau XII donne par longueur d'onde croissante les raies étudiées et leurs intensités relatives en arc et en cathode creuse. La colonne suivante contient les classifications, soit établies par Mack et Laporte [42], soit établies par nous à l'aide du nombre d'onde et du déplacement isotopique de chaque raie.

TABLEAU XII

λ (Å)	Intensités arc	Intensités cathode creuse	Classification	Déplacement isotopique (mK)
3 707,93	95	60	$S_3 - 299_3$	+ 59
3 757,09	4	3	$230_3 - 49_3$ (*)	+ 18
3 757,92	60	26	$D_3 - 3I4_4d$ $I6_4 - 4304f$	+ 3
3 760,13	80	90	$D_2 - 299_3$	— 9
3 768,45	120	39	$D_1 - 281_1$	— 34
3 773,70	40	15	$I3_2 - 402_3$	— 13
3 780,77	120	54	$S_3 - 293_2$	+ 26
3 792,77	20	1,8	$I3_3 - 397_2$	+ 3
3 794,34	10	2,7	$I5_5 - 414_6$	— 63
3 809,23	34	11,5	$S_3 - 291_2$	+ 61
3 817,48	160	222	$S_3 - 291_3$	+ 79
3 820,11	4	1	$I6_4 - 426_3$	— 53
3 824,39	4	4,8	$I9_6 - 457_5$	— 20
3 829,13	12	50	$D_1 - 277_1$	— 30
3 835,05	120	85	$D_2 - 293_2$	— 41
3 838,50	32	20	$I2_4 - 382_3f$ $I8_3 - 4502d$	— 19
3 841,31		1		0
3 842,30	10	21	$D_4 - 322_3$	— 14
3 846,21	80	72	$D_1 - 276_2$	— 10
3 847,49	28	68	$D_0 - 259_1$	0
3 855,54	16	100	$I3_2 - 397_2$	+ 4
3 859,29	10	0,5	$I8_2 - 440_3$	+ 3
3 861,06	8	1	$I4_2 - 4082f$ $I8_1 - 4392d$	+ 19
3 861,24	4	0,7	$I2_4 - 380_3$	+ 10
3 864,34	20	68	$D_2 - 291_2$	— 7
3 867,98	200	221	$S_3 - 287_4$	+ 16
3 872,83	28	82	$D_2 - 291_3d$ $I7_3 - 4532f$	+ 10
3 874,41	12	6	$I9_6 - 4545f$ $328_4 - 585d$	— 50
3 881,39	80	88	$D_3 - 305_3$	— 38
3 886,45	0	0,6	$I3_1 - 390_2$	— 5
3 892,72	12	1	$I3_3 - 390_2$	— 21
3 901,83	4	0,5	$I8_3 - 4452$	— 27
3 903,98	4	0,7	$2975 - 555$	+ 3
3 905,97	8	0,7	$I9_3 - 454_2$	— 8
3 918,60	8	1,4	$I2_4 - 376_3$	— 53
3 926,03	4	1,1	$I5_3 - 409_3$	— 53
3 930,25	7	0,6	$I9_5 - 452_4$	0
3 930,48	9	0,6	$I4_2 - 4041d$ $I9_3 - 4524f$	— 10
3 930,97	4	0,9	$I8_1 - 435_2$	+ 58
3 935,03	16 10	0,9 10	$I3_2 - 3911d$ $I9_5 - 4494d$	— 10 — 45
3 936,23	4	6,5	$I8_2 - 435_2$	— 4
3 936,98	13	4	$I8_3 - 443_2$	— 14
3 937,636	4	4	$I9_5 - 449_6$	— 47
3 944,80		32	$I9_2 - 445_2$	— 30
3 946,31		0,5	$I7_3 - 430_4$	— 48
3 947,98	13	16	$I9_6 - 449_7$	+ 3
3 952,52	13	8	$I4_2 - 402_3$	— 10
3 952,90	13	6	$I9_5 - 4514d$ $I9_4 - 4456f$	0
3 953,16	18	7,7	$I9_3 - 451_4$	0
3 953,72		7,7	$22_4 - 481_5$	— 3
3 955,32	22	38	$I9_6 - 449_6$	+ 20
3 961,74		4	$I8_2 - 435_2$	0
3 965,00		23	$D_4 - 314_4$	+ 3

d : La classification est en accord avec le déplacement isotopique observé.

D, *f* : La classification est en désaccord avec le déplacement isotopique observé.

NC : Raie non classée.

(*) Raie classée à l'aide des niveaux de AEL [54] ; certaines de ces classifications ont été confirmées par D. D. Laun que je tiens à remercier ici (Communication personnelle).

TABLEAU XII *(suite)*

λ (Å)	Intensités arc	Intensités cathode creuse	Classification	Déplacement isotopique (mK)
3 965,14	18	30	$22_4 - 476_4$	− 2
3 975,46	9	0,9	$12_4 - 373_5$	− 17
3 979,29	14	1,1	$13_1 - 384_1 d$ $15_3 - 405_4 f$	− 27
3 980,64	14	2,1	$19_5 - 449_4$	− 3
3 982,96	10	10,2	$19_2' - 443_1$	0
3 983,29	28	29	$19_5' - 449_6$	− 2
3 988,02		0,3	$16_4 - 414_3$	− 14
3 997,13	5	0,5	$18_3 - 439_4$	+ 15
3 998,16	5	0,5	$21_{4_1} - 46_1$	+ 10
3 998,76	8	1,8	$18_3 - 439_2$	+ 37
4 001,37	9	13	$12_4 - 371_4$	− 5
4 005,40	8	29	$D_1 - 266_0$	− 20
4 008,75	950	950	$S_3 - 278_4$	+ 12
4 010,38	5	4	$23_{0_3} - 47_4$	+ 12
4 015,22	60	29	$19_6 - 445_5$	+ 19
4 016,11		1,0	$24_{7_4} - 49_3$	+ 17
4 019,23	24	94	$D_2 - 281_1$	− 35
4 022,12	14	4	$20_{0_1} - 44_2 d$	+ 10
4 035,36	5	1,2	$19_5 - 443_6 f$ $15_3 - 402_4$	− 28
4 036,86	20	2,8	$17_4 - 418_4 d$ $19_4 - 440_3 d$	− 49 + 12
4 039,86	15	2,5	$18_3 - 437_4 f$ $23_3 - 486_4 f$	
4 040,59	5	3,3	$30_{5_3} - 55_4 d$	− 8
4 045,60	100	370	$19_6 - 443_6$ $S_3 - 276_2$	+ 30 + 57
4 064,79	20	3,5	$19_4 - 438_3$	+ 5
4 070,61	38	158	$D_1 - 262_2$	− 43
4 073,15	9	7	$15_5 - 396_5$	− 10
4 074,136	550	361	$S_3 - 274_3$	+ 12
4 082,97	16	19,5	$19_4 - 437_5$	+ 36
4 086,00		2	$37_{7_1} - 13_1$ (*)	+ 2
4 088,33	14	104	$D_2 - 277_1$	− 31
4 095,70	11	26	$17_6 - 414_6$	− 65
4 102,70	110	68,5	$D_4 - 305_3$	− 38
4 107,83	16	8	$D_2 - 276_2$	− 11
4 109,76	6	5	$13_3 - 376_3$	− 52
4 111,81	11	32	$D_1 - 259_1$	0
4 115,59	6	3,4	$15_5 - 393_5$	− 50
4 118,05	17	21	$18_3 - 432_4$	+ 14
4 118,19	11	28	$13_2 - 380_3 f$ $19_6 - 439_5 d$	+ 33
4 120,86	6	5,3	$15_5 - 397_4$	− 37
4 122,02	17	2,3	$18_3 - 432_2$	− 22
4 123,10	6	2,9	$15_3 - 397_2$	− 3
4 126,80	17	7,9	$19_2 - 434_3$	0
4 130,05 D		2,0	$19_5 - 437_5$	− 5
4 132,21	6	2,0	$19_3 - 440_3$	− 13
4 133,48	11	1,9	$19_5 - 437_4$	0
4 137,46	60	90	$D_2 - 274_3$	− 55
4 138,03	10	7	$13_1 - 374_2 f$ $19_5 - 439_4 d$	− 7
4 142,26	12	5	$18_2' - 422_3$	+ 14
4 145,16	15	7,6	$13_3 - 374_2$	− 53
4 145,95	12	0,7	$12_4 - 362_5$	− 6
4 149,44	6	1,0	$19_6 - 437_5$	+ 5
4 154,68	18	8,2	$19_{3_0} - 43_1$	+ 10
4 160,04	6	1,0	$20_2 - 450_3$	+ 18
4 160,35	5	0,7	$22_4 - 465_5$	− 10
4 166,14		1,2	$13_2 - 377_1$	− 12
4 170,04		2,1	$19_2 - 432_2$	− 34
4 170,54 D	18	37	$18_2' - 422_3$	− 45
4 171,18	50	11	$D_3 - 287_4$	− 51
4 175,59		1,4	(W II)	+ 17
4 183,67 D	6	4,1	$18_1' - 419_2$	+ 8
4 183,83	10	4	$19_5' - 437_4$ (*)	+ 43
4 186,02	5	3,2	$18_1 - 419_0$	0
4 193,82		1,0	$16_4 - 402_3$	− 15
4 197,56		2,1	$17_4 - 409_3$	− 49
4 199,63	5	0,9	$17_4 - 409_5$	0

TABLEAU XII *(suite)*

λ (Å)	Intensités arc	Intensités cathode creuse	Classification	Déplacement isotopique (mK)
4 200,03	6	2,1	$16_4 - 402_4$	− 22
4 203,82	10	3,7	$12_4 - 359_3$	− 9
4 204,41 D	18	3,6	$19_4 - 430_4$	+ 8
4 205,56		14	$21_{4_1} - 45_0$	+ 6
4 207,05	24	1,3	$19_6 - 434_7$	+ 14
4 212,89		2,8		− 13
4 215,38	12	10,5	$19_5 - 432_4$	− 8
4 218,56	6	10,5	$18_2' - 419_2$	+ 20
4 219,38	28	20	$D_4 - 299_3$	− 10
4 220,29		0,5	$13_2 - 374_2$	− 51
4 222,07	12	8,5	$15_5 - 387_4$	− 53
4 224,76	6	3,9	$23_3 - 475_3$	− 8
4 226,34	5	2,8	$19_4 - 429_4$	+ 14
4 226,92	6	6,5	$18_1 - 417_2 d$ $19_3 - 434_3 f$	− 40
4 233,00	6	1,0	$18_2 - 417_2$	+ 13
4 234,35	16	12	$19_4 - 428_5$	+ 32
4 240,15		12,9	$18_2 - 416_3$	+ 30
4 241,45	32	5,2	$15_5 - 390_2$	− 27
4 244,37	60	286	$D_4 - 297_5 d$ $23_3 - 474_3$	− 48
4 249,47	6	11,3	$13_3 - 368_3$	− 61
4 254,06		0,5	$18_1 - 415_2$	− 14
4 258,53 D	6	1,2	$17_4 - 405_4$	0
4 259,36	32	3,7	$21_{4_2} - 44_2$	+ 7
4 260,29	22	4,7	$18_2 - 415_2 f$ $21_{4_1} - 44_2 d$	0
4 263,32	22	2,4	$23_{0_3} - 46_3$	+ 8
4 269,39	150	274	$S_3 - 263_2$	+ 81
4 272,31		0,5	$19_3 - 432_2$	0
4 273,69	6	0,9	$22_4 - 458_4$	+ 6
4 274,55	24	7,7	$20_{0_1} - 43_1$	+ 8
4 275,15		4	$20_2 - 443_2$	+ 5
4 276,75	18	4	$19_5 - 429_4$	− 53
4 282,34	12	3,5	$19_4 - 426_3$	+ 14
4 283,81		1,7	$12_4 - 354_3$	− 10
4 286,01	12	5,3	$13_3 - 366_2$	+ 17
4 286,20		3,2		+ 22
4 292,74		5,0	$15_5 - 387_4 f$ $16_4 - 397_4 d$ $26_{3_2} - 49_3 f$	− 33
4 294,61	450	181	$S_3 - 262_2$	+ 24
4 302,11	240	119	$S_3 - 261_3$	+ 12
4 306,88	18	4,0	$24_{7_4} - 47_4$	+ 12
4 307,64	12	3,7	$19_5' - 430_4$	0
4 308,94		4,1	$22_4 - 456_3$	+ 7
4 310,15		0,8	$19_4 - 424_4$ (*)	+ 22
4 312,35		3,5	$16_4 - 396_5$	− 10
4 316,81	6	3,1		+ 26
4 330,66	9	3,7	$19_3' - 429_4$	− 8
4 330,97	9	4,3	$19_3 - 429_4$	− 12
4 332,13	12	0,9	$14_2 - 380_3$	+ 15
4 339,08		1	$19_5 - 428_5$	0
4 339,46		0,5	$20_2 - 440_3$	− 12
4 345,84	5	1,0	$18_3 - 419_2$	− 20
4 355,16	17	0,8	$12_4 - 351_4$	− 38
4 361,82	11	10,5	$D_4 - 291_3$	+ 11
4 364,79	17	39,5	$D_2 - 262_2$ (*)	− 44
4 365,96	11	0,8	$28_6 - 512_5$ (*)	+ 5
4 369,04		0,7	$17_3 - 405_4$	− 40
4 372,53	17	5,3	$D_2 - 261_3$	− 56
4 378,49	22	1,4	$D_3 - 276_2$	− 11
4 380,13		5,6	$18_2' - 411_2$	+ 33
4 384,86	20	8,5	$15_3 - 382_4$	− 23
4 386,78		2,1	$20_1 - 432_1$	+ 18
4 394,08	9	0,4	$18_2 - 408_2$	− 11
4 403,95	11	107	$17_6 - 397_7$ (*)	− 63
4 408,28 D	22	8,5	$26_{0_5} - 49_5$	+ 22
4 411,73		19	$28_5 - 508_4$	0
4 412,20	14	19	$D_3 - 274_3 d$ $D_2 - 259_1 d$	− 55 0
4 415,08	5	2	$18_2' - 409_3$	+ 13

TABLEAU XII *(suite)*

λ (Å)		Intensités arc	Intensités cathode creuse	Classification	Déplacement isotopique (mK)
4 418,45		5	1,5	$20_1 - 430_0$	0
4 418,80			2,0	$19_5' - 424_4$ (*)	0
4 419,26			0,5	$19_3 - 424_2$	0
4 420,47		10	2,1	$19_4 - 418_4$	+ 7
4 421,85			4,0	$18_3 - 415_2$	+ 5
4 423,78		9	4,0	$22_5 - 454_5$	− 15
4 424,91			2,6	$15_3 - 380_3$	+ 6
4 436,90		18	3,7	$20_2 - 435_2 f$ $23_{9_2} - 46_3 d$	+ 3
4 438,30		5	1,9	$18_3 - 414_3 d$ $31_{3_1} - 53_1 f$	+ 8
4 441,81		8	4,0	$17_4 - 396_5$	− 10
4 445,15		10	1,0	$14_2 - 374_2 f$ $18_{2'} - 407_1 d$	+ 17
4 449,01		10	22,6	$12_4 - 346_4$	− 48
4 450,36		5	1,3	$22_4 - 449_4$	− 9
4 458,09		5	24,1	$13_1 - 357_2$	+ 46
4 460,50		15	0,7	$13_2 - 361_1$	− 13
4 463,50		8	1,0	$23_3 - 463_2$	+ 13
4 466,35		15	4,9	$13_3 - 357_2$	− 40
4 466,73		15	34,2		− 63
4 484,19		7c	137	$D_1 - 239_2 d$ $18_2 - 404_1 f$	− 48
4 492,33		5	2,1	$17_4 - 393_5$	− 50
4 493,97		8	4,8	$19_2 - 414_3$	− 4
4 494,51	D	9	4,8	$19_4 - 414_3$	0
4 495,30		5	2,2	$15_5 - 373_5$	− 17
4 504,86		18	5,4	$12_4 - 343_3$	− 46
4 512,91		14	3,7	$18_2 - 402_3$	+ 43
4 513,30		13	8,2	$13_3 - 354_3 f$ $19_3 - 419_2 d$	0
4 529,76		4	3,1	$22_4 - 445_5$	− 11
4 530,47		4	10,2	$12_4 - 342_3$	+ 10
4 534,71		7	0,9	$19_5' - 418_4$	− 3
4 535,05		9	4,1	$19_3 - 418_4$	− 8
4 536,66		7	2,6	$21_0 - 438_1$	+ 10
4 542,89		4	3,2	$15_3 - 374_2 c$ $17_3 - 397_2 d$	− 58 − 3
4 543,51		17	1,6	$21_{4_2} - 43_1$	+ 8
4 550,33			0,5	$22_4 - 444_3$	− 30
4 551,85		16	7,5	$13_3 - 353_3 c$ $33_{5_1} - 55_4 f$	− 49
4 552,54			3,5	$12_4 - 341_4$	+ 6
4 556,87		4	0,2	$23_3 - 458_4$	+ 14
4 563,59		8	0,5	$19_3 - 417_2$	0
4 570,66		15	4,2	$23_{0_3} - 44_2$	+ 9
4 586,85		7	4,3	$09_0 - 313_1$	− 19
4 588,75		19	1	$26_8 - 47_4$	+ 14
4 592,42		8	42	$19_6 - 414_6$	− 6
4 592,58		6	63	$13_3 - 351_4$ (*)	− 39
4 599,96		15	8	$24_{7_3} - 46_3$	+ 7
4 609,92		15	16,5	$15_3 - 371_4$	− 5
4 613,32		18	6	$D_4 - 278_4 d$ $19_2 - 409_3 f$	− 56
4 620,55	D	3,5	4	$19_5 - 411_6$ (*)	0
4 623,69		3	1	$16_4 - 380_3$	+ 10
4 634,81		6	16,5	$16_4 - 380_4$	0
4 640,29			0,5	$22_4 - 440_3$	− 17
4 642,56		10	4,9	$13_2 - 353_2$	− 46
4 645,72			0,5		+ 6
4 657,04			1,2	$20_2 - 424_2$	+ 2
4 657,44		13	5,7	$27_{8_4} - 49_5$	+ 15
4 659,87		65	111	$D_0 - 214_1$	− 43
4 668,46		4	4,9	$15_3 - 368_3$	− 60
4 671,66			2,0	$D_3 - 262_2$	− 45
4 676,63		5	2,1	$19_5' - 409_5$	0
4 677,69		6	2,1	$19_5' - 411_4$	− 7
4 680,52		65	19	$D_3 - 261_3$	− 56
4 682,60			1,6	$29_{7_5} - 51_4$	+ 10
4 683,54	D	4	17	$19_5' - 411_6$ (*)	0
4 693,73		10	4,4	$26_{6_5} - 47_4$	+ 10
4 694,67			1,0	$18_3 - 402_3$	+ 7

TABLEAU XII *(suite)*

λ (Å)		Intensités arc	Intensités cathode creuse	Classification	Déplacement isotopique (mK)
4 700,41		5	9,1	$D_4 - 274_3 d$ $20_2 - 422_3 f$	− 55
4 702,47		3	4,1	$18_3 - 402_4 d$ $34I_4 - 55_6 f$	0
4 706,17		2	0,9	$16_4 - 376_3$	− 53
4 710,34		2,5	0,5		0
4 711,19		2,5	8,9	$19_4 - 404_5$	− 4
4 712,49		4	1,4	$14_2 - 361_1$	− 11
4 714,56			8,3	$15_5 - 362_5$	− 6
4 716,86		2,5	21,1	$17_6 - 382_6$	0
4 718,63		2,5	1,1	$23_3 - 451_4$	+ 4
4 720,40		2,5	5,3	$13_1 - 344_2$	+ 21
4 725,14		5	4,1	$19_2 - 404_1$	− 5
4 726,29	D		4,1	$17_4 - 382_4$	0
4 729,65		8	9,2	$13_3 - 344_2$	+ 5
4 738,17			2,1	$17_4 - 382_3$	− 43
4 741,50			1	$23_3 - 450_3$	+ 22
4 745,57		2	2,1	$18_2 - 391_1$	+ 44
4 749,88	D		2,1	$17_3 - 387_4$	0
4 752,21		3	9,8	$18_3 - 400_2$	− 23
4 757,55		14	18,5	$S_3 - 239_2 d$ $19_4 - 402_3 f$	+ 20
4 767,78		1,8	2,1		0
4 768,06			2	$14_2 - 359_3$	+ 13
4 773,91	D	3,5	10,6	$13_2 - 347_1 f$ $19_5 - 404_5 f$	− 28
4 780,34		1,6	0,2	$18_2 - 390_2$	+ 35
4 787,94		2,5	8,5	$13_3 - 342_3$	+ 9
4 788,43		2	16	$16_4 - 373_5$	− 17
4 792,82			17	$28_{7_4} - 49_3$	+ 15
4 793,88			15	$22_4 - 433_5$	0
4 797,55		2,5	8,3	$19_3 - 406_3$ (*)	− 23
4 799,92		8	14,3	$19_6 - 404_5$	− 2
4 807,37		5	14,5	$12_4 - 329_3$	+ 5
4 812,62			15	$13_3 - 341_4$	+ 7
4 816,11		2	1,6	$19_2 - 400_2$	0
4 817,7			0,8	$20_2 - 417_2$	0
4 818,33			2,1	$34{6_4} - 55_6$	+ 4
4 826,99			0,6	$20_2 - 416_3$	+ 14
4 835,02		2,5	0,6	$20_1 - 411_2$	+ 33
4 837,52			2,2	$12_4 - 328_4 d$ $23_3 - 445_2 f$	0
4 843,83		80	600	$D_2 - 239_2$	− 49
4 854,09		4	79	$13_3 - 339_2$	− 1
4 858,61			2,9	$13_2 - 343_3$	− 43
4 860,77			0,8	$17_4 - 376_3$ (NC)	− 53
4 863,08		2,5	4,3	$22_4 - 430_5 f$ $28_{7_4} - 49_5 d$	+ 7
4 867,98			2,1	$30_{5_1} - 51_4$	0
4 872,81	D		1,8	$20_2 - 414_3 f$ $29_{1_3} - 49_3 f$	− 7
4 875,42			0,3	$17_3 - 382_3$	− 48
4 878,28		2,5	8,9	$18_1 - 385_0$ (*)	0
4 879,69			2,1	$27{4_3} - 47_4$	+ 13
4 880,72			2,0	$15_3 - 359_3$	+ 15
4 886,91		38	600	$D_4 - 266_5$	− 52
4 888,39		1,6	2,1	$13_2 - 342_3$	+ 12
4 890,29		1,6	1,4	$16_4 - 368_3 f$ $28_5 - 486_4 d$	+ 50
4 891,62			1,3	$23_3 - 443_2$ (*)	+ 9
4 892,44		3	6,3	$22_4 - 429_4$	− 14
4 902,32		3	3,6	$19_4 - 396$	+ 18
4 902,97		1,6	3,7	$19_2 - 396_3$	− 39
4 910,74		2,5	9,8	$19_4 - 396_5$	+ 57
4 914,32			0,9	$20_1 - 407_1$	+ 17
4 916,18		3,0	10,9	$14_2 - 353_2$	− 44
4 922,92			0,6	$26{1_3} - 46_3$	+ 10
4 924,60			1,2	$17_6 - 373_5$	− 19
4 931,56		4	2,6	$15_3 - 357_2$	− 45
4 948,57			0,7	$17_4 - 373_5$	− 17
4 953,09		3	0,9	$19_3 - 400_2$	− 7
4 957,37		3,5	30	$13_2 - 339_2$ (*)	+ 1

TABLEAU XII *(suite)*

λ (Å)	Intensités arc	Intensités cathode creuse	Classification	Déplacement isotopique (mK)
4 962,29		1,3		+ 22
4 972,57	1,4	5,0	$19_4 - 393_5$	+ 17
4 976,33		1,2	$18_2 - 382_3$	+ 14
4 977,22		1,2	$278_4 - 47_4$	+ 15
4 977,69		1,0		− 16
4 979,85	5	7,5	$18'_2 - 383_1$ (*)	0
4 982,61	20	546	$D_0 - 200_1$	− 52
4 983,54	3	1	$19_6 - 397_7$ (*)	+ 8
4 984,17		1	$22'_4 - 429_4$	+ 3
4 984,70	2	1,8	$18_3 - 390_2$	0
4 986,94	6	13,9	$15_5 - 351_4 d$ $322_3 - 52_2 f$	− 38
4 989,09	2	1,1		+ 4
4 989,86		0,6		+ 2
4 994,09	1,4	2,5		+ 20
4 995,20	1,4	4,4	$22'_4 - 428_5$	+ 21
5 000,50		0,6		+ 19
5 006,17	32	127	$D_4 - 261_3$	− 56
5 007,22		2,6	$19_6 - 396_5$	+ 60
5 013,48		0,8	$20_2 - 409_3$	− 6
5 015,33	20	207	$D_3 - 247_4$	− 53
5 017,21		7,6	$18' - 382_3$	+ 18
5 022,48		5,3	$28_5 - 481_5$	− 23
5 028,97		2,0	$19_3 - 397_2 f$ $281_1 - 48_2 d$	0
5 031,80		8,3		+ 5
5 034,30		8,3	$28_6 - 482_7$ (*)	+ 35
5 035,75		3,1		+ 34
5 039,03		4,1	$27_5 - 476_4$	0
5 040,36	5	18,4	$13_1 - 331_2$	− 22
5 052,23	2	1,1	$20_1 - 407_1 d$ $19_5 - 396_5 f$	− 2
5 053,30	75	586	$D_1 - 214_1$	− 45
5 054,61	19	338	$D_1 - 214_2$	− 54
5 055,53	2,5		$22_4 - 422_3$	− 5
5 058,05		0,92	$17_3 - 374_2$	− 58
5 065,34		1		− 7
5 065,70		0,8	$28_5 - 479_4$	− 56
5 069,15	19	255	$D_4 - 230_3$	− 54
5 071,60		2	$19_6 - 393_5$	+ 19
5 071,73	11	16	$296_6 - 49_5$	+ 15
5 077,00		4,0	$18_1 - 377_1$	− 12
5 082,73		0,8		0
5 089,98		1,0		− 33
5 105,49		11,2	$297_5 - 49_5$	+ 7
5 110,36	3,5	23	$15_5 - 346_4$	− 48
5 117,60		26	$19'_5 - 393_5$	− 5
5 124,24	3,5	13,9	$14_2 - 344_2$	+ 11
5 128,53		1,2	$18'_2 - 377_1$	+ 47
5 128,80		2,1	$19_4 - 387_4$ (*)	+ 13
5 129,806		1,8	$22_0 - 422_1$ (*)	+ 28
5 130,11	3	2,1	$293_2 - 43_1$	+ 3
5 132,15		4,1	$13_3 - 328_4$	− 1
5 133,11		4,1		0
5 138,40	3,5	4,2	$28_5 - 476_4$	− 3
5 141,30		2,1	$17_3 - 371_4$	− 4
5 145,77	4	185	$20_2 - 404_1$	+ 18
5 153,53	1,6	8,5		− 26
5 154,44		2,1	$22_4 - 418_4$	− 12
5 154,88		0,9	$18'_2 - 376_3$	+ 11
5 162,70 D		2,3	$13_2 - 331_2$	− 17
5 163,48		2,0		0
5 183,97	3,0	3	$18_3 - 382_4$	+ 3
5 195,63	2	4,8	$259_1 - 45_0$	− 39
5 196,49		9,1		− 38
5 199,96		4,2		− 44
5 201,43		2,8		+ 28
5 203,26	4	29,8	$19_5 - 387_4$	− 53
5 204,51	5	49,8	$20_1 - 396_1$	+ 10
5 205,18		14,9		− 25
5 206,19	5	17,1	$19_3 - 390_2$	+ 20
5 209,14		7,5		+ 8

TABLEAU XII *(suite)*

λ (Å)	Intensités arc	Intensités cathode creuse	Classification	Déplacement isotopique (mK)
5 212,35		8,8	$13_2 - 329_3$	+ 8
5 212,79	4	2,0	$287_4 - 47_4$	+ 8
5 214,18		1,2	$17_2 - 368_3$ (*)	− 60
5 218,17		1,5		− 25
5 218,42		0,8		+ 35
5 214,67	7	274	$D_3 - 239_2$	− 49
5 229,11		1,1		+ 53
5 233,54	3	22,6	$19_2 - 383_1$ (*)	− 52
5 239,77		2,3	$13_1 - 320_0$ (*)	+ 10
5 242,99	7	55,5	$16_4 - 354_3$	− 10
5 247,38		3,8	$15_5 - 341_4$	+ 6
5 254,54	3	8,2	$15_3 - 344_2$ (*)	0
5 255,42	4	4,5	$22_4 - 414_3$	+ 20
5 259,36	6	2,3	$274_3 - 46_3$	+ 10
5 263,21	1,2	1,2		+ 20
5 268,52		1,8	$17_4 - 360_4$	− 40
5 269,28		3,0	$17_3 - 366_2$	+ 12
5 274,80		3,8	$19_2 - 382_3$	− 31
5 275,55	4	4,2	$19_4 - 382_3$	+ 24
5 278,55		0,7	$291_3 - 48_2$	− 42
5 283,29		1,6	$19'_5 - 387_4$	− 8
5 285,55		0,5	$21_0 - 322_3$ (*)	− 12
5 317,80		6	$19_2 - 380_3$	+ 20
5 318,87	25	4	$276_2 - 46_1$	− 23
5 337,37	2,5	2,2	$261_3 - 44_2$	+ 10
5 339,94		0,5	$22_4 - 411_4$	− 13
5 348,95	4	0,8	$262_2 - 44_2$	0
5 349,86		2		0
5 350,44	3	2	$293_2 - 48_2$	+ 6
5 351,90	2	2	$277_1 - 46_1$	− 4
5 353,68		4,1		0
5 354,46	2	15,9	$09_0 - 281_1 d$ $23_3 - 426_3 f$	− 38
5 357,12	1,2	16,5	$15_3 - 341_4$	+ 2
5 358,33		4,9		+ 18
5 368,70	1,2	3,5	$18'_2 - 369_2 d$ $28_5 - 468_5$	+ 39
5 372,85		9,1	$278_4 - 46_3$	+ 10
5 374,16	2,0	0,6	$20_1 - 390_2$	+ 40
5 379,40		0,5	$23_3 - 425_3$	0
5 381,99		1,2		+ 10
5 388,02	2	57	$19_6 - 382_6 d$ $21_0 - 404_1 f$	+ 72
5 388,60 D		47	$363_2 - 44_2$	+ 8
5 391,10		17	$D_4 - 247_4$	− 53
5 394,75		1		0
5 396,51		0,8		0
5 397,97	1,4	2,3	$19_2 - 377_1$	− 5
5 404,32		6,0	$S_3 - 214_2$	+ 13
5 406,35		2,8	$18_3 - 374_2$	− 32
5 408,60		4,3	$15_3 - 339_2$	− 6
5 412,96		4,3	$13_3 - 318_2$	− 8
5 413,88		2,2	$19_5 - 380_4$	0
5 415,59		4,5	$13_2 - 322$	− 8
5 415,97		5	$368_3 - 55_4$ (*)	− 15
5 419,40	1,0	2,3	$22_4 - 409_3$	− 10
5 422,89	0,6	4,9	$22_4 - 409_5$	+ 40
5 423,48		6,6	$19'_5 - 382_4$	+ 26
5 423,93	0,6	3,4	$19_3 - 382_4$	+ 23
5 435,06	5	169	$D_1 - 200_1$	− 54
5 439,60		4,2	$19_3 - 382_3$	− 2
5 440,08	0,8	19	$19'_5 - 382_6$ (*)	+ 47
5 456,59	2,0	2,0	$23_3 - 422_3$	+ 3
5 457,42		2,1		0
5 464,50		2,6	$328_4 - 51_4$	− 37
5 475,11	1,0	1,4	$281_1 - 46_1$	0
5 477,80	3,5	48,3	$09_0 - 277_1$	− 33
5 486,01	1,5	35	$319_4 - 49_3$	− 38
5 487,78	0,9	32	$D_3 - 230_3$	− 54
5 492,32	6	14	$297_5 - 47_4$	+ 6
5 492,54		2	$16_4 - 346_4$	− 48
5 496,24	0,9	1,3	$22_4 - 406_3$	− 26

TABLEAU XII *(suite)*

λ (Å)		Intensités arc	Intensités cathode creuse	Classification	Déplacement isotopique (mK)
5 500,51		2,5	14,9	$19_5' - 380_4$	+ 45
5 503,45		2,5	6,1	$14_2 - 331^f$ $299_3 - 482^d$ $329_3 - 514^f$	— 23
5 508,63		0,9	1,1	$20_1 - 385_0$ (*)	— 50
5 514,70		20,0	1,5	$D_2 - 214_1$	— 46
5 521,08		0,8	325	$18_1 - 361_1$	— 13
5 526,66			2,8		+ 2
5 528,05			1,6	$13_3 - 314_4$	+ 5
5 528,50			2,2	$372_6 - 555$	— 8
5 531,38		1,4	1,2	$18_2 - 361_1$	+ 42
5 537,74		1,4	8,1	$19_4 - 373_5$	+ 49
5 538,70			2,1		— 10
5 539,49		0,8	2.2	$20_2 - 390_2$ (*)	+ 19
5 559,78			4,3	$14_2 - 329_3$	+ 8
5 568,07		1,2	5,4	$52_2 - 342_3$ (*)	— 45
5 576,34		0,6	2,5	$20_1 - 383_1$ (*)	0
5 579,94			3		— 28
5 588,13	D		3,1	$19_4 - 371_4$	+ 10
5 591,03			1,1		+ 10
5 593,64			2,6	$28_5 - 461_6$ (*)	+ 22
5 604,33		1,2	3	$318_2 - 493$	— 33
5 608,07	D		8,5	$18_2 - 359_3$	+ 48
5 615,16			2,4	$23_3 - 417_2$	+ 4
5 617,33			9,1	$16_4 - 342_3$	+ 10
5 624,58		0,5	3,7	$19_5 - 373_5$	— 17
5 629,65		0,8	21	$15_5 - 328_4$	0
5 631,26		1,0	11	$333_5 - 514$	— 16
5 631,83			11		— 5
5 631,97		2,5	14	$12_4 - 299_3$	— 8
5 642,04		0.7	90	$D_1 - 1930$	— 55
5 648,38		6	7,5	$18_3 - 366_2^f$ $287_4 - 463^d$	+ 4
5 660,07	D	0,7	14	$18_2' - 359_3$	0
5 660,75		3	16	$19_6 - 373_5$	+ 50
5 664,00			0,7	$19_2 - 369_2$	— 13
5 664,34			0,7	$18_1 - 357_2^d$ $19_6 - 372_6^f$	— 36
5 674,40		0,6	4,3	$19_4 - 368_3$	+ 5
5 675,38	D	0,6	2,3	$18_2 - 357_2$	0
5 676,61		1,2	9,1	$12_4 - 297_5^f$ $19_5 - 371_4^d$	— 5
5 676,93		1,4	18,4	$17_3 - 353_2$	— 52
5 693,75			1,1		— 11
5 694,55			1,1	$28_5 - 457_5$	— 15
5 697,82		1,4	9,1	$13_2 - 313_1$	— 13
5 704,38			0,7	$17_4 - 346_4$	— 48
5 705,72			0,5		— 10
5 708,03			1		0
5 709,06			0,5		— 9
5 722,00			0,7	$19_5' - 372_6$	+ 33
5 723,06			0,7	$259_4 - 431$	— 44
5 728,60			2,3	$18' - 357_2$	— 21
5 735,09		5	4,6	$274_3 - 442$	+ 11
5 739,60		0,5	1,5	$322_3 - 493$	— 22
5 749,22		1,2	3,8	$305_3 - 474$	— 4
5 753,38			9,1	$13_1 - 306_1$	+ 8
5 756,09		1,0	8,8	$15_3 - 328_4$	— 4
5 791,36			0,9	$291_2 - 461$	— 32
5 793,07		1,2	1,8	$276_2 - 442$	— 33
5 796,51		1,2	8,5	$17_3 - 343_3$	— 46
5 799,53		0,4	1,6	$13_3 - 305_3$	— 38
5 806,07		1,2	17	$18_2' - 354_3$	+ 52
5 822,60		0,6	0,3	$22_4 - 396_3$	— 10
5 832,32			0,5	$277_1 - 442$	— 14
5 833,59	D	1,2	7,5	$22_4 - 396_5$	+ 55
5 838,99		1,2	5,6	$17_4 - 342_3^d$ $382_4 - 555^f$	+ 9
5 845,26		1,6	2,6	$293_2 - 463$	— 4
5 858,20			3,9		+ 20
5 864,63		2	1,8	$19_3 - 368_3$	— 22
5 869,90			4,4	$18_2' - 353_2$	+ 12

TABLEAU XII *(suite)*

λ (Å)		Intensités arc	Intensités cathode creuse	Classification	Déplacement isotopique (mK)
5 871,60			4,3	$281_1 - 450$	— 6
5 874,23		1,0	8,5	$19_4 - 362_5$	+ 51
5 875,66		0,8	2,2	$17_4 - 341_6$	+ 7
5 880,22		1,2	4,0	$341_4 - 514$	— 40
5 891,61	D	1,2	6,0	$18_3 - 359_3$	+ 37
5 902,66		3,5	1,8	$19_2 - 361_1$	— 6
5 947,58		5	1,2	$13_2 - 305_3$	— 34
5 964,53	D		3,4	$224 - 396_5$	+ 16
5 965,86		5	3,4	$18_3 - 357_2$	— 17
5 972,52		2,5	4,3	$D_2 - 200_1$	— 55
5 978,89		1,8	1,1	$281_1 - 442$	— 10
5 987,44			8,3		0
6 012,81		5	11,3	$19_6 - 362_5$	+ 53
6 015,70			7,6	$D_3 - 214_2$	— 55
6 021,54		3,5	6,1	$18_2 - 347_1$	+ 60
6 028,35		1,8	2,1	$299_3 - 463$	— 36
6 128,27		2,0	0,9	$28_5 - 445_5$	— 10

TABLEAU XIII

Niveau	Désignation		Déplacement isotopique	(AEL) g
0,00	$d^4 s^2$	$^5D_0$	X — 1	0/0
1 670,30	$d^4 s^2$	$^5D_1$	X + 1	1,51
2 951,29	$d^5 s$	$^7S_3$	X — 66	1,98
3 325,53	$d^4 s^2$	$^5D_2$	X + 2	1,48
4 830,00	$d^4 s^2$	$^5D_3$	X + 2	1,50
6 219,33	$d^4 s^2$	$^5D_4$	X + 2	1,49
9 528,07	$d^4 s^2$	$^3P_0$	X + 4	0/0
12 161,95	$d^4 s^2$	$^3H_4$	X + 1	0,99
13 307,06	$d^4 s^2$	$^3P_1$	X — 16	1,32
13 348,54	$d^4 s^2$	$^3G_3$	X	0,92
13 777,70	$d^4 s^2$	$^3F_2$, $^3D_2$ (*)	X — 2	1,09
14 976,21	$d^4 s^2$	$^3D_2$, $^3F_2$ (*)	X — 4	1,06
15 069,94	$d^4 s^2$	$^3H_5$	X + 1	1,05
15 459,99	$d^4 s^2$	$^3D_3$	X + 5	1,17
16 431,28	$d^4 s^2$	$^3G_4$, $^3D_4$ (*)	X + 1	1,02
17 008,50	$d^4 s^2$	$^3H_6$	X + 3	1,4
17 107,02	$d^4 s^2$	$^3F_4$	X + 1	1,19
17 701,14	$d^4 s^2$	$^3D_3$, $^3F_3$ (*)	X + 5	1,02
18 082,80	$d^4 s^2$	$^3D_1$	X — 2	0,7
18 116,84	$d_5 s$	$^5G_2$	X — 57	1,08
18 280,48	$d^5 s$	$^5S_2$	X 61	1,43
18 974,47	$d^5 s$	$^5G_3$	X — 29	1,06
19 253,58	$d^4 s^2$	$^3P_2$	X — 9	1,18
19 256,23	$d^5 s$	$^5G_4$	X — 66	1,20
19 535,04	$^*d^4 s^2$	$^3G_5$	X + 1	1,21
19 648,56	$d^5 s$	$^5G_6$	X — 68	1,32
19 826,04	$^*d^5 s$	$^5G_5$	X — 44	1,20
19 827,67	$d_5 s$	$^5P_3$, $^5D_3$ (*)	X — 41	1,28
20 427,81	$d^5 s$	$^5P_1$	X — 61	2,1
20 983,06	$d^5 s$	$^5P_2$	X — 42	
22 476,68	$d^5 s$	$^5D_4$	X — 38	1,48
22 773,84	$d^5 s$	$^5D_0$ (*)	X — 57	
22 852,84	$d^5 s$	$^5F_4$, $^1D_4$ (*)	X — 55	1,2
23 930,10	$d^5 s$	$^5D_3$	X — 46	1,4
27 849,84	$d^5 s$	$^3I_5$ (*)	X — 40	
28 233,44	$d^5 s$	$^5G_5$ (*)	X — 37	

(*) Dénomination prépondérante selon G. Racah (communication personnelle dont je tiens à le remercier ici).

* Ces niveaux ont une configuration différente de celle de AEL [45].

TABLEAU XIV

Niveau	Désignation		Déplacement isotopique	(AEL) g
43 451,98	$d^4 s\, s$	$^7D_1$	X − 44	2,83
44 914,84	$d^4 s\, s$	$^7D_2$	X − 43	1,9
45 225,22	$d^4 s\, s$	$^5D_0$	X − 39	0/0
46 458,30	$d^4 s\, s$	$^5D_1$	X − 34	
46 496,62	$d^4 s\, s$	$^7D_3$	X − 44	1,74
47 975,54	$d^4 s\, s$	$^7D_4$	X − 40	1,68
48 078,32	$d^4 s\, s$	$^5D_2$	X − 33	1,55
49 354,68	$d^4 s\, s$	$^7D_5$	X − 39	1,7
49 656,04	$d^4 s\, s$	$^5D_3$	X − 83	1,66
51 123,14	$d^4 s\, s$	$^5D_4$	X − 36	1,4
53 847,77	$d^4 s\, s$	1	X − 20	
55 333,12	$d^4 s\, s$	4	X − 44	1,45

TABLEAU XV

Niveau	J	Désignation		Déplacement isotopique	(AEL) g
19 389,43	0	$d^4 s\, p$	$^7F^0_0$	X − 54	0/0
20 064,20	1	$d^4 s\, p$	$^7F^0_1$	X − 53	1,54
21 448,76	2	$d^4 s\, p$	$^7F^0_2$	X − 53	1,48
21 453,90	1	$d^4 s\, p$	$^7D^0_1$	X − 44	2,51
23 047,31	3	$d^4 s\, p$	$^7F^0_3$	X − 52	1,53
23 964,67	2	$d^4 s\, p$	$^7D^0_2$	X − 47	1,93
24 763,39	4	$d^4 s\, p$	$^7F^0_4$	X − 51	1,50
25 983,60	1	$^*d^3 s^2 p$		X	0,54
26 189,20	3	$d^4 s\, p$	$^7D^0_3$	X − 54	1,80
26 229,77	2	$^*d^4 s\, p$	$^7P^0_2$	X − 42	1,84
26 367,28	2	$d^3 s^2 p$		X + 15	0,87
26 629,46	0	$^*d^3 s^2 p$	$^5F^0_0$	X − 19	0/0
26 676,48	5	$d^4 s\, p$	$^7F^0_5$	X − 50	1,46
27 488,11	3	$^*d^4 s\, p$	$^7P^0_3$	X − 53	1,72
27 662,52	2	$^*d^3 s^2 p$	$^5G^0_2$	X − 9	1,21
27 778,50	1	$^*d^3 s^2 p$, $d^4 s\, p$	$^5F^0_1$	X − 29	1,25
27 889,68	4	$^*d^4 s\, p$	$^7P^0_4$	X − 54	1,71
28 198,90	1	$d^4 s\, p$	$^5P^0_1$	X − 34	
28 797,24	4	$d^4 s\, p$	$^7D^0_4$	X − 49	1,61
29 139,11	3	$^*d^3 s^2 p$	$^5G^0_3$	X + 13	1,06
29 195,84	2	$^*d^3 s^2 p$	$^5F^0_2$	X − 5	1,28
29 393,40	2	$d^4 s\, p$	$^5P^0_2$	X − 39	1,813
29 643,06	6	$d^4 s\, p$	$^7F^0_6$	X − 54	
29 773,34	5	$d^4 s\, p$	$^7D^0_5$	X − 46	1,55
29 912,85	3	$^*d^3 s^2 p$	$^5F^0_3$	X − 7	1,31
30 586,64	3	$d^4 s\, p$	$^5P^0_3$	X − 36	1,64
30 683,52	1	$d^3 s^2 p$		X − 10	1,39
31 323,42	1	$d^3 s^2 p$		X − 15	0,86
31 432,91	5	$^*d^3 s^2 p$	$^5G^0_4$	X + 5	1,32
31 817,63	3	$d^3 s^2 p$		X − 8	1,56
32 238,02	3	$d^3 s^2 p$		X − 12	1,3
32 386,51	0	$d^3 s^2 p$		X − 6	0/0
32 828,12	4	$^*d^3 s^2 p$	$^5F^0_4$	X + 1	1,7
32 957,58	3	$d^3 s^2 p$		X + 6	1,43
33 141,38	2	$d^4 s\, p$		X − 41	1,51
33 370,03	5	$^*d^3 s^2 p$	$^5G^0_5$	X − 20	1,39
33 944,06	2	$d^3 s^2 p$		X − 1	
34 121,63	4	$d^3 s^2 p$		X + 7	1,5
34 228,60	3	$d^3 s^2 p$		X + 10	
34 342,41	1	$d^3 s^2 p$		X − 21	1,56
34 354,08	3	$d^4 s\, p$		X − 44	0,71
34 485,86	2	$d^3 s^2 p$		X + 5	0,82

Les tableaux XIII, XIV, XV rassemblent par valeurs croissantes respectivement les niveaux pairs, les niveaux pairs supérieurs, les niveaux impairs ainsi que leurs déplacements isotopiques et leurs configurations prépondérantes.

Raies sensiblement confondues (tableau XII). — Pour un certain nombre de longueurs d'onde, Mack et Laporte indiquent plusieurs classifications correspondant à plusieurs raies sensiblement confondues. Dans 4 cas les diverses raies ont été observées et ont été identifiées par la comparaison du déplacement isotopique mesuré et les déplacements isotopiques prévus pour chaque classification proposée.

Dans 37 cas une seule raie a été observée et a été de même identifiée à partir de son déplacement isotopique mesuré. Dans 3 cas le choix a été impossible soit parce que le déplacement isotopique observé était compatible avec ceux de plusieurs classifications proposées soit parce que la prévision d'au moins un déplacement isotopique était impossible. Enfin dans un cas le déplacement isotopique mesuré était en contradiction avec les 2 classifications proposées.

Modifications apportées à la classification des niveaux. — Les configurations indiquées dans Atomic Energy Levels [45] sont confirmées à l'exception des suivantes repérées dans les tableaux XIV et XVI par le signe * à gauche :

1° Les niveaux 19 535,04 K et 19 826,04 K classés respectivement $d^5\, s\, ^5G_5$ et $d^4 s^2\, ^3G_5$ doivent être permutés, l'ordre des niveaux est maintenant $^5G_2\, ^5G_3\, ^5G_6\, ^5G_9$ au lieu de l'ordre normal. Les facteurs de Landé des niveaux valent 1,21 et 1,20 (AEL) et ne permettaient pas de les identifier. L'étude du couplage intermédiaire faite par Racah confirme cette permutation (*). Par ailleurs pour tous les niveaux pairs du tableau les déplacements isotopiques observés sont en accord avec les désignations proposées par Racah.

(*) Communication personnelle dont je tiens à remercier M. le Professeur Racah.

TABLEAU XV *(suite)*

Niveau	J	Désignation	Déplacement isotopique	(AEL) g
34 632,58	4	$d^4 s\, p$	X − 47	0,89
34 719,33	1	$d^3 s^2 p$	X + 3	0,15
35 116,78	4	$d^4 s\, p$	X − 37	1,2
35 311,54	2	$d^4 s\, p$	X − 48	1,0
35 499,15	3	$d^3 s^2 p$	X − 9	1,0
35 731,94	2	$d^4 s\, p$	X − 40	1,5
35 943,17	3	$d^3 s^2 p$	X + 10	1,4
36 082,28	4	$d^4 s\, p$	X − 39	1,24
36 190,46	1	$d^3 s^2 p$	X − 15	1,62
36 275,10	5	$d^3 s^2 p$	X − 5	1,27
36 673,70	2	$d^3 s^2 p$	X + 17	1,50
36 874,36	3	$d^4 s\, p$	X − 63	1,50
36 904,14	2	$d^3 s^2 p$	X − 22	1,57
37 146,35	4	$d^3 s^2 p$	X + 1	1,1
37 297,50	6	$d^4 s\, p$	X − 35	
37 309,18	5	$d^3 s^2 p$	X − 17	1,25
37 466,30	2	$d^4 s\, p$	X − 53	1,28
37 674,08	3	$d^4 s\, p$	X − 52	1,13
37 773,96	1	$d^3 s^2 p$	X − 14	
38 001,12	4	$d^3 s^2 p$	X + 1	1,1
38 053,05	3	$d^3 s^2 p$	X + 11	1,11
38 203,12	6	$d^3 s^2 p$	X + 4	
38 206,38	3	$d^4 s\, p$	X − 43	
38 259,40	4	$d^3 s^2 p$	X − 18	
38 355,81	1	$d^3 s\, p$	X − 61	
38 429,82	1	$d^3 s^2 p$	X − 16	
38 576,14	0	$d^3 s^2 p$	X − 2	
38 748,44	4	$d^4 s\, p$	X − 52	
39 030,25	2	$d^3 s^2 p$	X − 21	
39 183,20	1	$d^3 s^2 p$	X − 12	1,01
39 361,01	5	$d^4 s\, p$	X − 49	1,13
39 614,05	5	$d^3 s^2 p$	X − 9	1,20
39 636,62	1	$d^4 s\, p$	X − 51	1,44
39 646,41	3	$d^4 s\, p$	X − 48	1,46
39 707,02	2	$d^3 s^2 p$	X + 2	1,00
39 709,03	7	$d^4 s\, p$	X − 60	
39 719,96	4	$d^4 s\, p$	X − 32	1,17
40 011,50	2	$d^4 s\, p$	X − 46	1,0
40 233,97	4	$d^3 s^2 p$	X − 21	1,53
40 269,35	3	$d^3 s^2 p$	X − 14	1,03
40 411,12	1	$d^3 s^2 p$	X − 14	1,58
40 476,42	5	$d^4 s\, p$, $d^5 p$	X − 70	1,04

TABLEAU XV *(suite)*

Niveau	J	Désignation	Déplacement isotopique	(AEL) g
40 583,07	4	$d^4 s\, p$	X − 35	
40 665,85	3	$d^4 s\, p$	X − 64	0,96
40 770,78	1	$d^4 s\, p$	X − 44	1,28
40 868,39	2	$d^4 s\, p$	X − 68	1,26
40 911,97	5	$d^3 s^2 p$	X + 1	1,03
40 923,83	3	$d^4 s\, p$	X − 48	1,32
41 104,52	2	$d^4 s\, p$	X − 28	1,5
41 198,16	4	$d^4 s\, p$	X − 51	1,22
41 417,48	6	$d^4 s\, p$	X − 62	1,23
41 499,43	3	$d^3 s^2 p$	X − 13	1,11
41 583,19	2	$d^3 s^2 p$	X − 16	1,06
41 694,34	3	$d^4 s\, p$, $d^3 s^2 p$	X − 27	1,28
41 734,13	2	$d^4 s\, p$	X − 42	1,1
41 871,94	4	$d^4 s\, p$	X − 48	1,11
41 965,21	0	$d^3 s^2 p$	X − 2	0/0
41 978,61	2	$d^4 s\, p$	X − 41	0,8
42 251,51	3	$d^4 s\, p$	X − 43	1,32
42 262,30	1	$d^4 s\, p$	X − 29	1,5
42 449,60	2	$d_4 s\, p$	X − 41	
42 450,24	4	$d^4 s\, p$	X − 44	
42 514,14	3	$d^4 s\, p$	X − 46	1,22
42 601,19	3	$d^4 s\, p$	X − 52	1,12
42 866,00	5	$d^4 s\, p$	X − 34	1,11
42 910,74	4	$d^4 s\, p$	X − 52	1,18
43 034,10	4	$d^4 s\, p$	X − 44	
43 185,11	4	$d^4 s\, p$	X − 46	
43 217,32	1	$d^4 s\, p$	X − 44	1,3
43 227,66	2	$d^4 s\, p$	X − 43	1,3
43 251,00	4	$d^3 s^2 p$	X − 7	1,14
43 330,80	5	$d^4 s\, p$	X − 38	
43 411,50	7	$d^4 s\, p$	X − 54	1,20
43 478,58	3	$d^3 s^2 p$	X − 9	1,3
43 514,67	2	$d^4 s\, p$	X − 61	0,9
43 720,87	4	$d^3 s^2 p$	X + 1	
43 711,30	5	$d^4 s\, p$	X − 63	1,09
43 850,84	3	$d^4 s\, p$	X − 61	1,17
43 892,63	1	$d^4 s\, p$	X − 34	1,05
43 924,25	5	$d^4 s\, p$	X − 35	1,2
43 975,22	2	$d^3 s^2 p$	X + 16	1,15
43 985,41	4	$d^3 s^2 p$	X − 6	1.24
44 021,00	3	$d^4 s\, p$	X − 54	1,2
44 353,48	1	$d^3 s^2 p$	X − 9	1,02

TABLEAU XV *(Suite et fin)*

Niveau	J	Désignation	Déplacement isotopique	(AEL) g
44 367,50	2	$d^4\,s\,p$	X − 37	1,1
44 390,42	6	$d^4\,s\,p$	X − 38	1,28
44 447,02	3	$d^4\,s\,p$	X − 66	1,38
44 546,76	5	$d^4\,s\,p$	X − 49	1,3
44 596,28	2	$d^4\,sp$	X − 39	1,11
44 923,90	6	$d^4\,s\,p$	X − 46	1,23
44 940,57	4	$d^4\,s\,p$	X − 47	1,20
44 970,72	7	$d^4\,s\,p$	X − 65	1,20
45 014,54	3	$d^3\,s^2$	X − 22	1,3
45 019,02	2	$d^3\,s^2$	X − 22	
45 116,77	4	$d^4\,s\,p$	X − 42	1,2
45 262,55	4	$d^4\,s\,p$	X − 44	1,1
45 422,27	2	$d^4\,s\,p$	X − 49	0,63
45 451,63	5	$d^4\,s\,p$	X − 53	1,16
45 789,14	5	$d^4\,s\,p$	X − 52	1,19
45 869,10	4	$d^4\,s\,p$	X − 32	1,36
46 106,21	6	$d^3\,s^2\,p$	X − 15	
46 327,75	2	$d^4\,s\,p$	X − 33	0,8
46 506,37	5	$d^4\,s\,p$	X − 48	1,38
47 593,44	3	$d^4\,s\,p$	X − 54	1,2
47 689,33	4	$d^4\,s\,p$	X − 40	1,4
47 968,62	4	$d^4\,s\,p$, $d^5\,p$	X − 93	1,23
48 138,39	5	$d^4\,s\,p$	X − 59	1,2
48 676,08	4	$d^3\,s^2\,p$	X + 13	1,20

2° Le multiplet $^7P^0$ appartient à la configuration $d^4\,sp$ et non à la configuration $d^5\,p$. Les raies ultimes du spectre d'arc ne sont pas des transitions $d^5\,s^7\,S_3 - d^5\,p\,^7P^0$ mais bien des transitions $d^5\,s\,^7S_3 - d^4\,sp\,^7P^0$ comme le pensaient Mack et Laporte.

3° Le multiplet $^5F^0$ appartient à la configuration $d^3\,s^2\,p$ et non à la configuration $d^4\,sp$. Il en est de même pour le multiplet $^5D^0$. Les dénominations doivent être modifiées. Les deux premiers quintuplets attendus pour la configuration $d^3\,s^2\,p$ sont $^5G^0$ puis $^5F^0$, la distance de ces deux multiplets étant 3 500 K.

Les quinze autres configurations impaires données dans AEL [45] sont confirmées.

Mise en évidence de nouveaux niveaux impairs. — On a d'abord cherché à classer les raies à partir de leurs nombres d'onde et de leurs déplacements isotopiques. Pour cela on ajoutait au nombre d'onde d'un niveau pair le nombre d'onde d'une raie et on ajoutait algébriquement au déplacement isotopique du niveau pair le déplacement isotopique de la raie.

Puis grâce au Docteur Gerstenkorn j'ai eu la possibilité d'utiliser une IBM 7 094 à laquelle ont été proposés les 2 730 nombres d'onde σ de toutes les raies non classées ou mal classées et les 345 différences D possibles entre niveaux pairs. La machine a comparé toutes les différences $\sigma_m - \sigma_n$ entre les nombres d'onde σ aux différences D et mis en mémoire celles qui s'écartaient au plus de 0,05 K d'une différence D.

Elle a ensuite déterminé les nombres d'onde (BT) des niveaux impairs créés, elle les a ordonnés par valeurs décroissantes et elle les a imprimés quand ils servaient au moins deux fois. On disposait ainsi de tous les niveaux pairs possibles.

Un nouveau niveau impair susceptible de classer 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 raies sera révélé, par, respectivement 2, 3, 6, 10, 15, 21, 28, 36 (BT) au maximum.

Le choix des niveaux à retenir était délicat.

On peut considérer la répartition des raies comme une fonction uniforme de σ sur l'intervalle 20 000 K-50 000 K et la répartition des différences D comme une fonction linéaire décroissante de σ sur l'intervalle 0-25 000 K. Avec ces hypothèses on obtient un nombre de (BT) fortuits de l'ordre de 15 000 et le nombre de groupes de 5 (BT) équivalents obtenu d'une manière aléatoire sera de l'ordre de 0,1 en supposant une répartition uniforme des (BT). Le nombre de groupes de 6 (BT) équivalents sera avec les mêmes hypothèses de l'ordre de $\frac{1}{200}$; aussi il semble raisonnable de retenir de tels groupes. On a porté dans le tableau XVI :

9 (BT) classant 5 raies chacun
4 (BT) classant 6 raies chacun
1 (BT) classant 7 raies chacun
1 (BT) classant 9 raies chacun
1 (BT) classant 4 raies chacun.

Le déplacement isotopique d'une raie permet de donner le déplacement isotopique du (BT) classant 4 raies, les déplacements isotopiques de deux raies s'accordent pour donner le déplacement isotopique du (BT) classant 3 raies. De plus le tableau XVI contient un nouveau niveau impair classant 2 raies intenses dont les déplacements isotopiques s'accordent pour donner le déplacement isotopique du niveau.

Par ailleurs on a obtenu 14 autres (BT) classant chacun 4 raies et il est probable que certains de ces (BT) pourraient être retenus. De même d'autres niveaux impairs permettent d'interpréter simultanément des raies non classées et des raies déjà classées différemment. Mais comme on ne disposait d'aucun renseignement sur les déplacements isotopiques et que les nombres d'onde des raies observées ne permettent pas de choisir entre les deux classifications possibles, on n'a pas cru bon de retenir ici ces niveaux impairs. Cependant il serait intéressant de refaire un travail systématique analogue à celui entrepris mais portant cette fois sur toutes les raies classées et non classées. Un tel travail devrait être possible mais assez onéreux.

TABLEAU XVI

Niveau impair (BT)	Raies classées (en Å)	Raies classées (en Å)
57 131,83 J = 3 ou 4 Noté $57I_{3,4}$	2 283,27 ($57I_{3,4} - I3_3$) 2 456,23 ($57I_{3,4} - I6_4$) 2 535,33 ($57I_{3,4} - I7_3$)	2 679,87 ($57I_{3,4} - I9_5$ 2 916,38 ($57I_{3,4} - 22_4$)
54 269,86 J = 2 ou 3 Noté $542_{2,3}$	2 443,33 ($542_{2,3} - I3_3$) 2 544,17 ($542_{2,3} - I4_2$) 2 575,90 ($542_{2,3} - I5_3$)	2 733,77 ($542_{2,3} - I7_3$) 2 765,20 ($542_{2,3} - I8_2$)
54 118,84 J = 4 Noté $54I_4$	2 382,67 ($54I_4 - I2_4$) 2 560,12 ($54I_4 - I5_5$) 2 595,96 ($54I_4 - I5_3$)	2 652,60 ($54I_4 - I6_4$) 2 745,11 ($54I_4 - I7_3$) 2 867,56 ($54I_4 - I9_3$)
53 848,63 J = 4 Noté 538_4	2 039,38 ($538_4 - {}^5D_3$) 2 398,12 ($538_4 - I2_4$) 2 577,97 ($538_4 - I5_5$) 2 671,77 ($538_4 - I6_4$)	2 866,61 ($538_4 - I8_3$) 2 889,97 ($538_4 - I9_4$) 2 938,50 ($538_4 - I9_3$)
52 310,33 J = 4 ou 5 Noté $523_{4,5}$	2 786,31 ($533_{4,5} - I6_4$) 2 839,81 ($523_{4,5} - I7_4$) 3 077,52 ($523_{4,5} - I9_5$)	3 193,76 ($523_{4,5} - 22_4$) 4 152,18 ($523_{4,5} - 28_5$)
51 776,13 J = 4 ou 5 Noté $517_{4,5}$	2 523,59 ($517_{4,5} - I2_4$) 2 883,56 ($517_{4,5} - I7_4$) 3 100,74 ($517_{4,5} - I9_4$)	3 128,98 ($517_{4,5} - I9_5$) 3 412,05 ($517_{4,5} - 22_4$)
51 472,99 J = 4 Noté 514_4	2 746,21 ($514_4 - I5_6$) 2 852,91 ($514_4 - I6_4$) 3 076,17 ($514_4 - I8_3$)	3 130,16 ($514_4 - I9_5$) 3 493,04 ($514_4 - 22_4$) 4 231,94 ($514_4 - 27_5$)
49 073,80 J = 5; $\Delta T = X - 68$ Noté 490_5, $d^4 s\,p$	3 127,34 ($490_5 - I6_4$) 3 352,77 ($490_5 - I7_4$) 3 397,47 ($490_5 - I9_6$)	3 812,66 ($490_5 - 22_4$) 4 710,32 ($490_5 - 27_5$ ($\Delta\sigma = 0$) 4 797,03 ($490_5 - 28_5$)
47 790,90 J = 2 Noté 477_2	2 939,18 ($477_2 - I3_2$) 3 367,97 ($477_2 - I8_2$) 3 469,25 ($477_2 - I8_3$)	3 653,52 ($477_2 - 20_1$) 3 729,20 ($477_2 - 20_2$) 4 189,79 ($477_2 - 23_3$)
47 442,47 J = 2 Noté 474_2	2 932,21 ($474_2 - I3_3$) 3 079,22 ($474_2 - I4_2$) 3 409,01 ($474_2 - I8_2$)	3 546,49 ($474_2 - I9_2$) 3 700,65 ($474_2 - 20_1$)
43 821,39 J = 3 Noté 438_3	2 446,04 ($438_3 - {}^7S_3$) 2 563,91 ($438_3 - {}^5D_3$) 3 914,19 ($438_3 - I8_2$)	4 023,49 ($438_3 - I8_3$) 4 069,21 ($438_3 - I9_2$)
42 532,57 J = 3 ou 4 Noté $425_{3,4}$	2 525,68 ($425_{3,4} - {}^7S_3$) 3 425,55 ($425_{3,4} - I3_3$) 3 692,73 ($425_{3,4} - I5_3$) 3 830,13 ($425_{3,4} - I6_4$) 3 931,94 ($425_{3,4} - I7_4$)	4 026,03 ($425_{3,4} - I7_3$) 4 243,63 ($425_{3,4} - I8_3$) 4 294,89 ($425_{3,4} - I9_4$) 5 079,92 ($425_{3,4} - 22_4$)
42 059,07 J = 4 Noté 420_4	2 556,27 ($420_4 - {}^7S_3$) 3 343,85 ($420_4 - I2_4$) 3 900,91 ($420_4 - I6_4$)	4 496,55 ($420_4 - I9_5$) 5 105,18 ($420_4 - 22_4$)
41 905,88 J = 3 ou 4 Noté $419_{3,4}$	2 566,32 ($419_{3,4} - {}^7S_3$) 2 696,37 ($419_{3,4} - {}^5D_3$) 3 780,23 ($419_{3,4} - I5_3$)	4 313,86 ($419_{3,4} - I9_4$) 5 145,45 ($419_{3,4} - 22_4$)
41 637,57 J = 3; $\Delta T = X - 131$ Noté 416_3, $d^5 p\ {}^7P_3$	2 222,72 ($416_3 - {}^5D_4$) 3 749,66 ($416_3 - I4_2$)	4 411,22 ($416_3 - I8_3$) 4 466,73 ($416_3 - I9_4$) ($\Delta\sigma = -63$)
39 709,03 J = 7; $\Delta T = X - 56$ Noté 397_7, $d^4 s\,p$	4 403,95 ($397_7 - I7_6$) ($\Delta\sigma = -63$)	4 983,5 ($397_7 - I9_6$) ($\Delta\sigma = +8$)
39 209,10 J = 3 ou 4 Noté $392_{3,4}$	2 757,21 ($392_{3,4} - {}^7S_3$) 3 696,20 ($392_{3,4} - I2_4$) 3 860,80 ($392_{3,4} - I3_3$)	4 209,50 ($392_{3,4} - I5_3$) 4 388,99 ($392_{3,4} - I6_4$)

Le niveau 416_3 serait le premier niveau de la configuration $d^5\,p$ identifié.

Je tiens à remercier vivement le Docteur S. Gerstenkorn pour l'aide et les conseils qu'il m'a apportés pour cette partie de mon travail ainsi que M. Dandeü et Mme Dufour et toute l'équipe du C. E. A.

Constante de déplacement isotopique. — Le déplacement isotopique de la configuration $d^5\,s$ pour le couple d'isotopes (184 — 186) vaut :

$$\Delta T(d^5\,s) = X - Y = Y = 69 \pm 6\ \text{mK}.$$

L'erreur provenant essentiellement de l'incertitude sur les facteurs des effets d'écran. Cette valeur de $\Delta T(d^5\,s)$ est voisine de la valeur 70 mK admise antérieurement par Brix et Kopfermann 17 pour le couple d'isotopes 182 — 184. En utilisant la valeur :

$$\frac{1}{n^{*3}(6s)} \times \frac{dn^*}{dn} = 0{,}596 \pm 0{,}06$$

évaluée par ces auteurs on peut calculer la constante de déplacement isotopique expérimentale βC_{exp}, pour chaque couple d'isotopes pairs, définie par la formule :

$$\beta C_{exp} = \frac{\beta \Delta T(6s)}{\dfrac{1}{n^{*3}} \dfrac{dn^*}{dn}}$$

et la comparer à la constante de déplacement isotopique C calculée pour $R_0 = 1{,}20 \times 10^{-13}$ cm. Les résultats sont rassemblés dans le tableau XVII.

TABLEAU XVII

Couple d'isotopes	180-182	182-184	184-186
βC_{exp}	91	131	116
C	310	308	306
$\beta C_{exp}/C$	0,30	0,43	0,38

Les valeurs de βC_{exp} étant connues à mieux de 20 p. 100 près.

Intensités des raies

Le tableau XII donne les intensités relatives des raies émises soit en arc, d'après Meggers [44], soit en cathode creuse, d'après nos mesures. Les échelles des intensités sont les mêmes pour les 2 spectres la raie la plus intense est la même (4 008,75 Å) et on lui a attribué le même coefficient. Les incertitudes sur les intensités relatives en cathode creuse sont inférieures à 0,6.

Les raies fortes sont comparativement plus intenses en cathode creuse où l'auto-absorption a été rendue négligeable comme le montrent les largeurs à mi-hauteur des diverses composantes. Les raies émises en cathode creuse sont en général d'autant plus intenses qu'elles aboutissent à des niveaux plus profonds.

CHAPITRE IV

L'OSMIUM

Caractéristiques de l'osmium

L'osmium de numéro atomique Z = 74 a pour état fondamental $5d^6\ 6s^2\ {}^5D_4$.

En 1934 Albertson [1] a classé 1 050 raies du spectre d'arc de l'osmium et déterminé 137 niveaux, puis en 1938 [2] il a classé 2 169 raies sur 4 500 et déterminé 234 niveaux. L'étude de l'effet Zeeman a été entreprise dès 1949 par J. C. van den Bosch et Th. A. M. van Kleef. Celui-ci a publié en 1960 [35] les résultats relatifs à la structure et à l'effet Zeeman des spectres d'arc et d'étincelle, puis en 1961 avec P. F. A. Klinkenberg donné dans une nouvelle publication [36] les 263 niveaux retenus pour Os I.

Le tableau XVIII donne les abondances des sept isotopes de l'osmium naturel d'après A. O. Nier [49].

TABLEAU XVIII

Isotopes	184	186	187	188	189	190	192
Abondances en p. 100	0,018	1,586	1,643	13,27	16,14	26,38	40,96

Les abondances des isotopes 188, 190, 192 se prêtent bien à une étude du déplacement isotopique mais les composantes hyperfines de l'isotope 189, de spin I = 3/2 sont parfois gênantes. L'erreur absolue sur le déplacement isotopique (190-192) est inférieure à 0,5 mK dans les cas les plus favorables et ne dépasse jamais 3 mK. Le pouvoir de résolution effectif a été en moyenne égal à 900 000.

Étude du déplacement isotopique dans le spectre d'Os I

Partant de la classification de van Kleef et Klinkenberg [36] nous avons d'abord étudié les raies portées dans le tableau XIX. Au-dessous de la longueur d'onde de la raie (en Å) est indiqué son déplacement isotopique (190-192) en mK.

Nous pouvions penser, et l'étude théorique du couplage intermédiaire l'a confirmé, que les niveaux pairs les plus profonds, dont ceux portés dans le tableau XX, sont pratiquement purs. Nous obtenons alors, avec une très bonne précision, la valeur :

$$Y = \Delta T(d^6\ s^2) - \Delta T.d^7\ s = 71\ \text{mK}.$$

On en déduit les déplacements isotopiques attendus pour les diverses configurations d'Os I.

TABLEAU XIX

Niveaux impairs \ Niveaux pairs		${}^5D_4$ 0	${}^5D_2$ 2 740	${}^5D_3$ 4 159	${}^5F_5$ 5 143	${}^5F_4$ 8 742
J = 4	22 615	4 420 − 52	—	5 416 − 52	5 722 + 19	7 206
J = 5	23 462	4 260 − 55,0	—	—	5 457 + 16	6 791 + 16
J = 3	25 012	3 996 − 48	4 488 − 46	4 795 − 47,8	—	6 144
J = 4	28 331		—	4 135 − 45	4 311 + 26	5 103 + 25
J = 4	30 591		—	3 782 − 49	3 928 + 21	4 575

Les déplacements isotopiques de 113 raies ont été mesurés.

Un tableau général a été construit à partir de ces mesures.

Le tableau XX analogue au tableau XII donne par longueur d'onde croissante les déplacements isotopiques ΔT des raies enregistrées et leurs classifications.

Les tableaux XXI et XXII contiennent les niveaux impairs et les niveaux pairs supérieurs avec leurs déplacements isotopiques et leurs configurations prépondérantes. Le tableau XXIII relatif aux niveaux pairs contient à côté des valeurs expérimentales des énergies et des g, les valeurs des énergies et des g obtenues à partir des calculs de couplage intermédiaire [6]. A côté des déplacements isotopiques et des configurations prépondérantes qu'ils permettent d'attribuer aux niveaux sont indiqués les pourcentages des configurations $d^7\ s$, d^8, $d^6\ s^2$ calculés par la théorie du couplage intermédiaire. On a toujours accord entre expérience et théorie. Les dénominations LS données dans la dernière colonne n'ont de sens que pour les niveaux profonds. On sait que chaque niveau réel a un pourcentage de chaque niveau LS et que de même chaque niveau LS est représenté par un pourcentage dans chaque niveau réel. Toutes les fois où cela était possible les dénominations de van Kleef ont été conservées ; dans certains cas la dénomination attribuée au niveau réel est la dénomination LS ayant le plus gros pourcentage, dans d'autres cas la dénomination LS est donnée au niveau réel en ayant le plus fort pourcentage même si ce niveau réel a une autre dénomination LS prépondérante. Ce mode de nomenclature est celui utilisé par R. Trees [61]

TABLEAU XX

λ (Å)	Classification	ΔT	λ (Å)	Classification	ΔT
3 752,5	− 27(2) 293(3)	−42	3 977,2	51(5)d − 302(5) 210(1)f − 461(2)	+15
3 782,2	41(3) − 305(4)	−43	3 988,2	143(5) − 394(5)	−49
3 836,0	87(4) − 348(4)	+ 5	3 991,5	211(3) − 461(2)	−48
3 849,9	127(2) − 387(2)	+ 4		27(2)d − 277(1)	
3 857,1	41(3) − 300(2)	−55	3 996,8	0(4) − 250(3)	−48
3 865,4	252(2) − 511(3)	−16	4 003,5	153(3) − 403(4)	+ 4
3 876,7	110(4) − 368(5)	−85	4 004,0	113(3) − 363(2)	+12
3 881,8	101(2)d − 359(1) 213(2)f − 470(3)	−35	4 037,8	57(1) − 305(1)	−50
3 900,4	27(2)d − 283(3) 305(4)f − 562(5)	− 3	4 041,9	194(2) − 441(3) 57(1)d − 304(0)	−51
3 901,7	87(4) − 343(5)	+ 6	4 066,7	226(4) − 471(5)	
3 928,4	113(3)d − 368(4) 255(3)f − 510(3)	+11	4 070,8	148(4) − 394(5)	+ 6
3 928,5	51(5) − 305(4)	+19	4 071,0	133(2) − 379(2)	−45
3 929,99	149(6) − 402(9)	+ 9	4 071,6	149(6) − 394(5)	−53
3 938,6	87(4) − 341(3)	+14	4 074,7	148(4)d − 393(3) 189(3) − 434(2)	+ 5
3 963,3	41(1) − 293(3)	−44	4 088,4	152(2) − 396(2)	0
3 969,6	149(6) − 400(7)	0	4 091,8	60(0) − 305(1)	−54,7
4 103,6	277(1) − 521(2)	+10	4 100,3	87(4) − 331(3)	+15
4 112,0	57(1) − 300(2)	−54,5	4 285,9	130(1) − 363(2)	+ 3
4 124,6	113(3) − 356(3)	+37	4 293,9	148(4) − 381(4)	−10
4 128,9	41(3) − 283(3)	− 4	4 294,0	162(1)d − 394(2) 300(2) − 533(3)	−10
4 135,8	41(3) − 283(4) 140(3) − 382(3)	−46,0		255(3) − 488(3)	
4 137,8	152(2) − 393(3)	−10	4 311,4	51(5) − 283(4)	+26
4 158,8	140(3) − 381(4)	−66	4 326,2	152(2) − 383(2)	+ 9
4 173,2	51(5) − 290(6)	+16	4 328,7	110(4)f − 341(3) 153(3)d − 384(3)	+14
4 175,6	87(4) − 326(4)	0	4 365,7	130(1) − 359(1)	+12
4 189,9	127(2) − 366(2)	+10		284(3) − 513(2)	
4 195,1	140(3)f − 379(2) 300(2)d − 538(3)	0	4 370,7	153(3) − 382(3)	0
4 201,4	41(3) − 279(2)	−14	4 394,8	113(3) − 341(3)	+10
4 202,0	143(5) − 381(4)	−66	4 397,3	140(3) − 368(4)	−49
4 226,5	152(2) − 388(1)	−12	4 420,5	0(4) − 226(4)	−52
4 233,4	130(1)d − 366(2) 133(2)f − 369(1)	+ 2	4 432,4	133(2) − 359(1)	−36
4 260,8	0(4)d − 234(5) 162(1)f − 396(2)	−55,0	4 436,3	27(2) − 252(2)	−18
			4 447,3	143(5) − 368(5)	−94
			4 479,8	127(2) − 350(2)	+10
4 484,7	101(2) − 324(2)	−12	4 813,8	148(4) − 356(3)	+35
4 488,6	27(2) − 250(3)	−46	4 826,7	140(3) − 348(4)	−60
4 524,9	110(4) − 331(3)	−36	4 912,6	127(2) − 331(3)	+10
4 529,7	130(1) − 350(2) 300(2) − 521(2)	0	5 103,5	87(4) − 283(4)	+24
4 539,9	255(3) − 476(3) 57(1) − 277(1)	−50	5 122,2	148(4) − 343(5)	0
4 548,6	148(4) − 368(4)	+ 8	5 149,7	153(3)d − 348(4) 379(2) − 573(3)	− 7
4 550,4	148(4) − 368(5)	−39	5 202,6	101(2) − 293(3)	−34
4 551,3	149(6) − 368(5)	−97	5 203,2	113(3) − 305(4)	+24
4 597,1	113(3) − 331(3)	+12	5 295,6	162(1) − 350(2)	+10
4 605,0	162(1) − 319(2)	+12	5 376,8	140(3)f − 326(4) 198(4) − 384(3)	−14
4 608,3	60(0) − 277(1)	−55		387(2) − 573(3)	
4 616,8	110(4) − 326(4)	−50	5 416,3	302(5) − 4 873(4)	+15
4 641,8	87(4) − 302(5)	+15	5 416,7	41(3) − 226(4)	−53
4 663,8	153(3) − 368(4)	+ 5	5 457,3	51(5) − 234(5)	+16
4 692,1	113(3) − 326(4)	− 2	5 469,99	148(4)d − 331(3) 341(3)d − 524(3)	+10
4 732,8	152(2) − 363(2)	− 4	5 477,3	176(1) − 359(1)	−40
4 793,99	41(3) − 250(3)	−47,8	5 800,6	152(2) − 324(2)	+25
5 523,5	290(6) − 4 719(5)	+ 5	5 857,8	153(3) − 324(2)	+37
5 584	152(2) − 351(3)	− 5	6 729,6	152(2) − 300(2)	− 7
5 620,1	101(2) − 279(2)	− 5	6 791,6	87(4) − 234(5)	+16
5 721,9	51(5) − 226(4)	+19			
5 780,8	153(3) − 326(4)	− 8			

TABLEAU XXI

(niveaux impairs).

Niveau	J	Déplacement	Configuration
22 615	4	X − 52	$d^6\,s\,p$
23 462	5	X − 55	$d^6\,s\,p$
25 012	3	X − 47	$d^6\,s\,p$
25 275	2	X − 19	$d^5\,s^2\,p$, $d^6\,s\,p$ (A)
27 786	1	X − 49	$d^6\,s\,p$
27 954	2	X − 13	$d^5\,s^2\,p$
28 331	4	X − 45	$d^6\,s\,p$ (A)
28 371	3	X − 3	$d^5\,s^2\,p$
29 099	6	X − 55	$d^6\,s\,p$
29 381	3	X − 43	$d^6\,s\,p$
30 078	2	X − 55	$d^6\,s\,p$
30 279	5	X − 56	$d^6\,s\,p$
30 499	0	X − 50	$d^6\,s\,p$
30 524	1	X − 49	$d^6\,s\,p$
30 591	4	X − 42	$d^6\,s\,p$
32 457	2	X − 23	$d^5\,s^2\,p$ (A)
32 684	4	X − 69	$d^6\,s\,p$
33 124	3	X − 54	$d^6\,s\,p$
34 125	3	X − 57	$d^6\,s\,p$
34 365	5	X − 64	$d^6\,s\,p$
34 803	4	X − 65	$d^6\,s\,p$
35 090	2	X − 55	$d^6\,s\,p$
35 615	3	X − 29	$d^6\,s\,p$
35 919	1	X − 44	$d^6\,s\,p$
36 345	2	X − 54	$d^6\,s\,p$
36 634	2	X − 54	$d^6\,s\,p$
36 817	5	X − 103	$d^7\,p$ (A)
36 826	4	X − 55	$d^6\,s\,p$
37 979	4	X − 59	$d^6\,s\,p$
37 921	2	X − 53	$d^6\,s\,p$
38 130	4	X − 74	$d^6\,s\,p$
38 264	3	X − 59	$d^6\,s\,p$
38 330	2	X − 40	$d^6\,s\,p$
38 486	3	X − 45	$d^6\,s\,p$ (A)
38 741	2	X − 60	$d^6\,s\,p$ (A)
38 875	1	X − 61	$d^6\,s\,p$
39 382	3	X − 58	$d^6\,s\,p$
39 405	5	X − 58	$d^6\,s\,p$
39 493	2	X − 75	$d^6\,s\,p$
39 674	2	X − 49	$d^6\,s\,p$
40 036	7	X − 6	$d^5\,s^2\,p$ (A)
40 290	6	X + 3	$d^5\,s^2\,p$ (A)
40 361	4	X − 59	$d^6\,s\,p$

(A) Ces niveaux ont une configuration prépondérante différente de celle indiquée par van Kleef [36].

TABLEAU XXII

Niveaux pairs supérieurs
(configuration $5d^6\,6s\,7s$).

Niveau	J	Déplacement
47 198	5	X − 40
48 737	4	X − 41
51 138	3	X − 36
52 148	2	X − 39

pour le Re I ; comme lui nous avons utilisé le critère fondamental suivant : niveau LS et niveau réel doivent avoir la même configuration.

Le calcul théorique du couplage intermédiaire a par ailleurs permis de calculer les énergies de soixante niveaux pairs et leurs pourcentages de configurations $d^6\,s^2$, $d^7\,s$, d^8 [6] mais nous n'avons pas pu déterminer le déplacement isotopique de ces niveaux. Nous n'indiquerons dans le tableau XXIV que les niveaux pour lesquels il y a eu modification soit de la configuration soit de la désignation indiquée par van Kleef [36].

TABLEAU XXIII

J	Niveaux expérimentaux	Niveaux calculés	Résultats de van Kleef [36]	g expérimental (van Kleef)	g calculé	ΔT	C prépondérante	Pourcentage d^8	Pourcentage $d^7 s$	Pourcentage $d^6 s^2$	Classification
4	0	− 164	$d^6 s^2$ $^5D_4$	1,44	1,450	X	$d^6 s^2$	0	1	99	$^5D_4$
2	2 740	2 782	$d^6 s^2$ $^5D_2$	1,44	1,444	X − 1	$d^6 s^2$	1	11	88	$^5D_2$
3	4 159	4 082	$d^6 s^2$ $^5D_3$	1,47	1,479	X + 1	$d^6 s^2$	0	1	99	$^5D_3$
5	5 144	5 047	$d^7 s$ $^5F_5$	1,38	1,380	X − 71	$d^7 s$	0	99	1	$^5F_5$
1	5 766	5 873	$d^6 s^2$ $^5D_1$	1,47	1,466	X + 1	$d^6 s^2$	0	3	97	$^5D_1$
0	6 093	6 258	$d^6 s^2$ $^5D_0$	%	p. 100	X + 6	$d^6 s^2$	0	2	98	$^5D_0$
4	8 743	8 595	$d^7 s$ $^5F_4$	1,31	1,306	X − 71	$d^7 s$	0	93	7	$^5F_4$
2	10 166	10 128	$d^6 s^2$ $^3P_2$	1,45	1,463	X − 9	$d^6 s^2$	3	33	64	$^3P_2$
4	11 031	11 053	$d^7 s$	1,16	1,169	X − 18	$d^6 s^2$ +	1	23	76	$^3F_4$
3	11 378	11 408	$d^7 s$ $^5F_3$	1,26	1,254	X − 66	$d^7 s$	0	98	2	$^5F_3$
2	12 774	12 821	$d^7 s$ $^5F_2$	1,00	0,997	X − 64	$d^7 s$	0	86	14	$^5F_2$
1	13 020	13 153	$d^7 s$ $^5F_1$	0,31	0,320	X − 56	$d^7 s$	1	93	7	$^5F_1$
2	13 365	13 496	$d^7 s$ $^3F_2$	0,94	0,944		$d^6 s^2$ +	1	40	59	$^3F_2$
3	14 091	14 192	$d^7 s$ $^3F_3$	1,10	1,095		$d^6 s^2$ +	1	37	62	$^3F_3$
5	14 339	14 283	$d^6 s^2$	1,13	1,138	X − 9	$d^6 s^2$	0	10	90	$^3H_5$ *
4	14 848	14 844	$d^7 s$	1,08	1,086	X − 64	$d^7 s$ +	0,3	64	35,7	$^3F_4$ *
6	14 852	14 834	$d^6 s^2$ $^3H_6$	1,14	1,148	X − 6	$d^6 s^2$	0	6	94	$^3H_6$
2	15 223	15 294	$d^7 s$ $^5P_2$	1,61	1,621	X − 49	$d^7 s$	1	74	25	$^5P_2$
3	15 391	15 478	$d^7 s$ $^5P_3$	1,54	1,547	X − 59	$d^7 s$	0	88	12	$^5P_3$
1	16 212	16 227	$d^7 s$ $^5P_1$	1,74	1,684	X − 65	$d^7 s$	5	86	9	$^5P_1$
1	17 667	17 642	$d^6 s^2$ $^3P_1$	1,40	1,418	X − 8	$d^6 s^2$	0	40	60	$^3P_1$

\+ Configuration modifiée.
* Interprétation modifiée.

TABLEAU XXIV

Niveaux pairs	J	Désignation	Terme	Désignation	Terme [36]
18 417	5	$d^7 s$	$^3G_5$	$d^6 s^2$	$^3H_5$
18 901	3	$d^7 s$	$^3D_3$	$d^6 s^2$	$^3D_3$
19 108	4	$d^6 s^2$	$^3G_4$	$d^6 s^2$	$^3H_4$
19 410	2	$d^6 s^2$	$^3F_2$	$d^6 s^2$	$^1D_2$
19 893	4	$d^6 s^2$	$^3H_6$	$d^6 s^2$	$^1G_4$
21 033	1	$d^7 s$	$^3D_1$	$d^6 s^2$	$^3D_1$
23 322	4	$d^7 s$	$^1G_4$	$d^7 s$ $^3G_4$	
23 984	3	$d^7 s$	$^3F_3$	$d^6 s^2$	$^3F_3$
24 291	5	$d^6 s^2$	$^3G_5$	$d^7 s$ $^3G_5$	
25 069	2	$d^7 s$	$^3F_2$	$d^6 s^2$	$^3F_2$
25 601	4	d^8 $^3F_4$		$d^6 s^2$	$^3F_4$

Raies sensiblement confondues

Dans sept cas une seule raie a été observée et a été identifiée par comparaison de son déplacement isotopique et des déplacements isotopiques des niveaux. Dans onze cas une seule raie a été observée et au moins une classification pouvait être retenue sans que cependant le déplacement isotopique expérimental et la connaissance des déplacements isotopiques des niveaux permettent l'identification de la raie observée. Le plus souvent c'était bien encore le nombre d'onde de la classification retenue qui était le plus voisin du nombre d'ondes de la raie.

Constante de déplacement isotopique expérimental

De $Y = 71 \pm 2$ mK on déduit :

$$\Delta T_{exp}(d^7 s) = 71 \pm 7 \text{ mK}$$

l'incertitude provenant essentiellement de l'évaluation approchée des facteurs des effets d'écran.

Nous avons réévalué à partir des structures hyperfines des raies 4 136 Å et 4 311 Å mesurées par Blaise [8] le facteur d'intervalle magnétique A du niveau (5 143 K, J = 5). La fonction d'onde vraie de ce niveau contient pratiquement 90 p. 100 de $d^7 s\ ^5F_5$ et 10 p. 100 de $d^7 s\ ^3G_5$. Les facteurs d'intervalles de ces deux composants LS étant identiques le résultat de Blaise [8], $-a_{6s} = 10$ A —, n'est pas modifié. En négligeant toute structure hyperfine provenant des électrons $5d$ on obtient :

$$a_{6s} = 312 \pm 10 \text{ mK}.$$

Appliquant le résultat de Brix et Kopfermann [17] :

$$C_{exp} = \frac{\Delta T(d^7 s) \times F}{a_s}$$

on déduit :

$$\beta \Delta T_s = \beta C_{exp} = 114 \pm 14 \text{ mK}.$$

On remarque que la valeur de $\beta\Delta T(s)$ est voisine de la valeur 130 mK calculée par W. Siemens [58] pour le couple d'isotopes 191-193 de l'Iridium comportant le même nombre de neutrons.

Nous avons obtenu pour l'osmium des résultats analogues à ceux obtenus pour le tungstène. Pour ce dernier corps l'utilisation de la structure hyperfine donnerait une réponse moins précise que la méthode employée, en effet les moments magnétiques et magnétons nucléaires sont + 0,115 et + 0,792 pour W^{183}_{76} et pour Os^{189}_{76} ; la plus grande distance mesurée entre les deux grandes composantes hyperfines de W^{183}_{76} est seulement de 54 mK.

Le tableau XXV met en évidence les analogies que nous avons observé pour les déplacements isotopiques des niveaux et des transitions dans les spectres d'arc du tungstène et de l'osmium. La première colonne contient les configurations des niveaux ou les transitions entre configurations. La 2e et la 4e colonne contiennent les valeurs théoriques (en mK) des déplacements isotopiques estimés respectivement à partir de X = 138 mK et de X = 142 mK.

La 3e et la 5e colonne contiennent les valeurs en mK des déplacements isotopiques mesurés pour les niveaux les plus purs de chaque configuration.

TABLEAU XXV

Configurations	W ($n = 4$) X = 138 mK ΔT théorique	W (186-184) ΔT expérimental	Os ($n = 6$) X = 142 mK ΔT théorique	Os (192-190) ΔT expérimental
$d^n \quad s^2$	138	138	142	142
$d^{n+1} \; s$	69	69	71	71
$d^n \quad s \quad s$	91	91	93	101
$d^{n-1} \; s^2 \; p$	156	149	160	145
$d^n \quad s \quad p$	98	78	80	81
$d^{n+1} \quad p$	0	5	0	39
Transitions				
$d^{n-1} \, s^2 p - d^n \, s^2$	+ 18	+ 12	+ 18	+ 9
$d^{n-1} \, s^2 \, p - d^{n+1} \, s$	+ 87	+ 81	+ 89	+ 37
$d^n \, s \, p - d^n \, s^2$	— 60	— 55	— 62	— 56
$d^n \, s \, p - d^{n+1} \, s$	+ 9	+ 14	+ 9	+ 14
$d^{n+1} \, p - d^n \, s^2$	— 138		— 142	— 97
$d^{n+1} \, p - d^{n+1} \, s$	— 69	— 63	— 71	— 38
$d^n \, s \, s - d^{n-1} \, s^2 \, p$	— 65	— 42	— 67	
$d^n \, s \, s - d^n \, s \, p$	+ 13	+ 13	+ 13	+ 15
$d^n \, s \, s - d^{n+1} \, s \, p$	+ 91		+ 93	

RÉFÉRENCES

[1] W. E. ALBERTSON. — *Phys. Rev.*, 1934, **45**, 304.
[2] W. E. ALBERTSON. — *Phys. Rev.*, 1938, **53**, 940.
[3] W. E. ALBERTSON, G. R. HARRISON, J. R. MACNALLY. — *Phys. Rev.*, 1942, **61**, 167.
[4] W. L. BARR et F. A. JENKINS. — *Bull. Amer. Phys. Soc.*, 1956, **1**, 839.
[5] J. H. BARTLETT. — *Nature*, 1931, **128**, 408.
[6] J. BAUCHE, Y. BORDARIER, G. GLUCK et Th. A. M. van KLEEF. — *Physica* (à paraître).
[7] J. BLAISE. — *J. Phys. Rad.*, 1958, **19**, 335.
[8] J. BLAISE. — Thèse, Paris, 1958, *Ann. Phys.*, 1958, **3**, 1019.
[9] J. BLAISE et G. GLUCK. — *J. Phys. Rad.*, 1959, **20**, 466.
[10] A. R. BODMER. — *Proc. Phys. Soc. London*, 1954, A, **67**, 622.
[11] G. BREIT. — *Phys. Rev.*, 1932, **42**, 348.
[12] G. BREIT, G. B. ARFKEN et W. W. CLENDENIN. — *Phys. Rev.*, 1950, **78**, 390.
[13] G. BREIT. — *Rev. Mod. Phys.*, 1958, **30**, n° 2, 507.
[14] P. BRIX. — *Zeits. Phys.*, 1949, **126**, 431.
[15] P. BRIX. — *Zeits. Phys.*, 1952, **132**, 579.
[16] P. BRIX et H. KOPFERMANN. — *Zeits. Phys.*, 1949, **126**, 344.

[17] P. BRIX et H. KOPFERMANN. — Wiss. Göttingen, 1951, 17.
[18] R. CHABBAL. — Thèse, *Rev. Opt.*, 1958, **37**, n° 2.
[19] R. CHABBAL et P. JACQUINOT. — *Rev. Opt.*, 1961, **40**, n° 4, 157.
[20] R. J. CHAMPEAU. — Communication personnelle.
[21] M. DIRINGER. — Thèse Paris, 1964 (*à paraître* aux *Ann. Phys.*).
[22] Yu. P. DONVSOV, V. A. MOROZOV et A. R. STRIGANOV. — *Optics and Spectrosc.*, 1960, **8**, 391.
[23] Ch. DUFOUR. — *Rev. Opt.*, 1945, **24**, 11.
[24] Ch. DUFOUR. — Thèse Paris, 1950, *Ann. Phys.*, 1951, **6**, 5.
[25] S. GERSTENKORN. — Thèse Paris, 1962, *Ann. Phys.*, 1962, **7**, 367.
[26] P. GIACOMO, H. CHANTREL et J. L. COJAN. — Colloque sur l'optique des couches minces solides, Marseille, 1963.
[27] G. E. M. A. HASSAN. — Thèse, Amsterdam, 1962.
[28] G. E. M. A. HASSAN et P. F. A. KLINKENBERG, *Physica*, 1963, **29**, 1133.
[29] D. HUGHES et C. ECKART. — *Phys. Rev.*, 1930, **36**, 694.
[30] W. HUMBACH. — *Zeits. Phys.*, 1952, **133**, 589.
[31] W. HUMBACH. — *Zeits. Phys.*, 1955, **141**, 59.
[32] P. JACQUINOT et C. DUFOUR. — *J. Rech. C. N. R. S.*, 1948, **2**, n° 6, 91.
[33] W. H. KING. — *Astro. Phys. J.*, 1933, **78**, 9.
[34] W. H. KING. — *J. Opt. Soc. Am.*, 1963, **53**, 638.
[35] Th. A. M. van KLEEF. — *Proc. Kon. Akad. Wetensch.*, Amsterdam, séries B, 1960, **63**, 501.
[36] Th. A. M. van KLEEF et P. F. A. KLINKENBERG. — *Physica*, 1961, **27**, 83.
[37] P. F. A. KLINKENBERG. — *Physica*, 1945, **11**, 327.
[38] P. F. A. KLINKENBERG. — Thèse, Amsterdam, 1955, Uitgeverrij Excelsior, 's-Gravenhage.
[39] H. KOPFERMANN. — Nuclear Moments, Academic Press. Inc., 1958.
[40] H. KOPFERMANN et D. MEYER. — *Zeits. Phys.*, 1947, **124**, 685.
[41] F. A. KOROLEV et I. P. OSSIPOV. — *Doklady Akad. Nauk SSSR*, 1956, **10**, 1, 365.
[42] O. LAPORTE et J. E. MACK. — *Phys. Rev.*, 1943, **63**, 246.
[43] D. D. LAUN et J. RESEARCH. — *Nat. Bur. S. O. D.*, 1938, **21**, 207, RP 1125.
[44] W. F. MEGGERS, C. H. CORLISS et B. F. SCRIBNER. — *Spectro. Acta*, 1961, **17**, n° 11, 1137.
[45] C. E. MOORE. — Atomic Energy Levels, 1958, Circular 467 NBS, vol. III.
[46] K. MURAKAWA. — *J. Phys. Soc. Japan*, 1953, **8**, 215.
[47] K. MURAKAWA. — *J. Phys. Soc. Japan*, 1956, **11**, 778.
[48] K. MURAKAWA. — *Phys Rev.*, 1954, **96**, 1543.
[49] A. O. NIER. — *Phys. Rev.*, 1937, **52**, 885.
[50] G. NÖLDEKE et A. STEUDEL. — *Zeits. Phys.*, 1954, **137**, 632.
[51] G. RACAH. — *Nature*, 1932, **129**, 723.
[52] G. RACAH. — *Physica*, 1950, **16**, 651.
[53] G. RACAH. — Communication personnelle.
[54] P. R. RAO et G. GLUCK. — *Proc. Roy. Soc.*, 1964, A **277**, 540.
[55] J. E. ROSENTHAL et G. BREIT. — *Phys. Rev.*, 1932, **41**, 459.
[56] SCHROEDER et MACK. — *Phys. Rev.*, 1961, **121**, 1726.
[57] H. SCHÜLER et H. WESTMEYER. — *Zeits. Phys.*, 1933, **82**, 685.
[58] W. von SIEMENS. — *Ann. der Physik*, 1953, **13**, 136.
[59] A. R. STRIGANOV. — *Opt. y Spectr.*, 1962, **12**, 91.
[60] A. R. STRIGANOV et A. P. DONSOV. — *Uspekhi Fiz. Nauk SSSR*, 1955, **55**, 315.
[61] R. E. TREES. — *Phys. Rev.*, 1958, **112**, 1, 165.
[62] J. A. VREELAND et K. MURAKAWA. — *Phys. Rev.*, 1951, **83**, 229.
[63] J. A. VREELAND et K. MURAKAWA. — *J. Phys. Soc. Japan*, 1958, **13**, 663.
[64] D. WILLIAMS et P. YUSTER. — *Phys. Rev.*, 1946, **69**, 556.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Amplificateurs d'images

Vu et approuvé :
Paris, le 18 novembre 1964.
Le Doyen de la Faculté des Sciences,
Marc ZAMANSKY.

Vu et permis d'imprimer :
Le Recteur de l'Académie de Paris,
Jean ROCHE.

G. GLUCK

Imprimé avec les *Annales de Physique.* *Le Directeur de la Publication :* Georges Masson

dépôt légal : 1965, 1er trimestre, n° d'ordre 4198, masson et cie, éditeurs, paris
Printed in France. imprimerie barnéoud s. a., laval, n° 5025. — 3-1965.

Thèse publiée par les *ANNALES DE PHYSIQUE*, 13e Série - Tome 10, 1965